



**Flávio da Cunha
Antunes**

**Prevenção de riscos na fase de projeto com recurso
à metodologia BIM**



**Flávio da Cunha
Antunes**

**Prevenção de riscos na fase de projeto com recurso
à metodologia BIM**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Aos meus pais.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista
Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Servem as seguintes palavras para agradecer a todos os que de uma forma ou de outra contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Um especial agradecimento à minha orientadora, a Professora Fernanda Rodrigues, pelo tema proposto, pelo incentivo e motivação no seu desenvolvimento e pela disponibilidade ao longo deste projeto.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais por me terem proporcionado esta oportunidade e experiência académica.

A todos os meus amigos e colegas que estiveram presentes durante o meu percurso, em especial ao Pina, Diogo, Telmo, Fábio, Zero, Fred, Joel, Rocha, Ivan, Inês, Regina, Silvério por todos os momentos passados e partilhados.

palavras-chave

Avaliação de riscos, *Building Information Modeling* (BIM), *Rule-check*, Prevenção de acidentes, Revit, API

resumo

A utilização da metodologia BIM tem vindo a aumentar no setor da AEC, implicando um novo paradigma de trabalho, com o uso de modelos tridimensionais paramétricos. No entanto, as vantagens desta metodologia não têm sido utilizadas pelos projetistas para a prevenção de riscos profissionais e para o planeamento das respetivas medidas de segurança, tendo em consideração que na fase de projeto se tem o maior potencial para aplicar eliminar/minimizar os perigos e, consequentemente influenciar a segurança em obra e nas fases posteriores à sua conclusão.

Apoiado na revisão bibliográfica, esta dissertação tem como objetivo mostrar a capacidade de se desenvolverem ferramentas que permitem adicionar funcionalidades ao *software* Autodesk Revit 2016, para deteção automática de situações de perigo, no modelo 3D. Para se atingir este objetivo, teve-se por base o modelo 3D da estrutura dum edifício de radioterapia, utilizado para se proceder à validação das ferramentas desenvolvidas. Foi feita uma revisão das normas e legislação existentes, identificando as possíveis de ser aplicadas em linguagem computacional. Com base em dois sistemas de *rule-check*, destinados à prevenção de quedas em altura, é proposto um *framework* para a sua implementação na metodologia BIM. A partir deste, foi desenvolvido um *plugin* que permite a deteção de perigos de queda, a avaliação da segurança de uma forma qualitativa através da aplicação do Job Hazard Analysis e de listas de verificação, e a importação de objetos relativos aos sistemas de proteção contra quedas em altura.

Em suma, conclui-se que as API's do *software* Autodesk Revit possibilitam a criação e adição de diversas funcionalidades possíveis de serem utilizadas na metodologia BIM, e mais especificamente na prevenção de riscos na construção, contribuindo esta dissertação para a aplicação de uma nova abordagem para a prevenção de riscos em projeto.

keywords

Risk assessment, Building Information Modeling (BIM), Rule-check, Prevention through Design, Revit API

abstract

The use of BIM methodology is to increase in the AEC sector, implying a new work paradigm with the use of three-dimensional parametric models. However, the advantages of this methodology have not been used by the designers for the prevention of occupational risks and for the planning of the respective safety measures, since the design phase is considered the optimal period to eliminate/minimize the hazards and influence the safety at work and in all of the phases after its conclusion.

Supported by literature review, this dissertation aims to show the ability to develop tools that allow to add functionalities to Autodesk Revit 2016 software for automatic detection of danger situations in the 3D model. In order to reach this goal, it was used the 3D model of the structural phase of a radiotherapy building to validate the developed tools. A review of existing norms and legislation was made, identifying possible ones to be applied in computational language. Based on two rule-check systems, aimed at preventing height falls, is proposed a framework to be implemented in the BIM methodology. From this, a plugin was developed to allow the detection of fall hazards, the qualitative evaluation of safety through the application of Job Hazard Analysis and safety checklists, and the importation of BIM objects related to fall protection systems. In scene, it is concluded that Autodesk Revit software APIs let the creation and addition of several functionalities that can be used in the BIM methodology, more specifically in the scope of safety at construction, contributing this dissertation to the application of a new approach in the risk prevention through design.

Índice Geral

Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	IV
Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas	V
1. Introdução	3
1.1. Enquadramento	3
1.2. Objetivos e Metodologia	4
1.3. Organização e estrutura da dissertação	5
2. Building Information Modeling	9
2.1. Enquadramento	9
2.2. Diferentes domínios BIM	10
2.3. Benefícios da utilização do BIM	11
2.4. Desvantagens	12
2.5. Softwares	13
2.5.1. Autodesk Revit	14
2.5.2. Solibri Model Checker	15
2.6. Interoperabilidade	15
2.7. Implementação	17
3. Prevenção de riscos através da metodologia BIM	23
3.1. Princípios gerais de prevenção	23
3.2. Prevenção de riscos	25
3.2.1. Identificação de perigos e avaliação de riscos	27
3.2.2. Metodologia de prevenção corrente	29
3.2.3. Prevention through Design	33
3.2.4. Job Hazard Analysis	35
3.3. Rule-check	37
3.3.1. Enquadramento	37
3.3.2. Framework	39
3.3.3. Desenvolvimento das regras	40
3.3.4. Aplicação das regras	42
3.3.5. Modelação	45
3.4. API's	46

4. Caso de estudo.....	51
4.1. Considerações Iniciais.....	51
4.1.1. Linguagem de Programação	51
4.2. Desenvolvimento do plugin.....	52
4.2.1. Ribbon	53
4.2.2. Aberturas.....	53
4.2.3. Job Hazard Analysis.....	56
4.2.4. Importação de elementos	60
4.3. Aplicação do plugin no modelo	61
4.4. Nota final.....	65
5. Considerações finais.....	69
5.1. Síntese do trabalho realizado	69
5.2. Dificuldades sentidas.....	69
5.3. BIM na prevenção de riscos	70
5.4. Desenvolvimentos futuros	71
6. Referências Bibliográficas.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 - Modelo BIM em comparação com desenho tradicional 2D	10
Figura 2 - Ciclo de vida de um projeto.....	16
Figura 3 - Custo das alterações em projeto	18
Figura 4 - Desenho 2D relativo à identificação das zonas com risco de queda em altura	26
Figura 5 - Métodos de avaliação de riscos	27
Figura 6 - Programação temporal do projeto em obra.....	30
Figura 7 - Planeamento da Construção e a Capacidade de influenciar a segurança	35
Figura 8 - Exemplo de um relatório de JHA	36
Figura 9 - Exemplo de um relatório de JHA gerado de forma automática.....	37
Figura 10 – Validação da altura mínima e máxima entre lajes	38
Figura 11 - Framework para implementação de um sistema automático de <i>rule-check</i>	39
Figura 12 - Fluxograma de aplicação de um sistema de <i>rule-check</i> para proteção de quedas.....	43
Figura 13 - Fluxograma de aplicação de um sistema de <i>rule-check</i> para aberturas em parede	44
Figura 14 - Modelação manual comparativamente à automática	46
Figura 15 - Modelo utilizado	52
Figura 16 - Painel de acesso às ferramentas	53
Figura 17 - Janela padrão das aberturas	54
Figura 18 - Medidas de prevenção relativamente ao tipo de abertura	56
Figura 19 - Exemplo da base de dados.....	57
Figura 20 – Opções disponíveis de JHA	57
Figura 21 – Job Hazard Analysis.....	58
Figura 22 - Janela Sobre.....	59
Figura 23 - Janela da Ficha Tipo.....	59
Figura 24 - Janela da Ficha tipo com Perigos comuns.....	60
Figura 25 - Antes e depois de clicar em "Importar"	60
Figura 26 - Resultado da análise das aberturas.....	61

Figura 27 - Parâmetros de uma abertura em parede	62
Figura 28 - Parâmetros de uma abertura <i>shaft</i>	62
Figura 29 - Exemplo da aplicação do JHA no modelo	63
Figura 30 - Exemplo de aplicação da Ficha Tipo numa janela	63
Figura 31 - Exemplo da aplicação do tamponamento	64
Figura 32 - Exemplo de aplicação de guarda-corpos na extremidade da laje	64

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Softwares disponíveis no mercado.....	13
Tabela 2 - Identificação de perigos e riscos numa operação de montagem de uma estrutura metálica	29
Tabela 3 - Principais domínios que devem constituir o PSS em fase de projeto..	31
Tabela 4 - Principais domínios que devem constituir o PSS em fase de obra.....	31
Tabela 5 - Artigos 10 e 11 da Portaria nº 101/96, de 3 de Abril.....	41
Tabela 6 - Medidas de prevenção a aplicar de acordo com a extensão da abertura	42
Tabela 7 - Comparação entre a modelação manual e automática	45
Tabela 8 - Descrição das ferramentas.....	53
Tabela 9 - Informação apresentada nos tooltips.....	55

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

API - Application Program Interface

BIM - Building Information Modelling

CAD - Computer-aided Design

CSO - Coordenador de Segurança em Obra

CSP - Coordenador de Segurança em Projeto

CT - Compilação Técnica

EAP - Estrutura Analítica do Projeto (ou WBS - Work Breakdown Structure)

IDE - Integrated Development Environment

IFC - Industrial Foundation Class

ISO - International Standard Organization

JHA - Job Hazard Analysis

MEP - Mechanical, Electrical and Plumbing

NP - Norma Portuguesa

OHSAS - Occupational Health and Safety Advisory Services

OSHA - Occupational Safety and Health Administration

PGPRP - Princípios Gerais de Prevenção de Riscos Profissionais

POO- Programação Orientada a Objetos

PSS - Plano de Segurança e Saúde

PtD - Prevention through Design

SDK - Software Development Kit

SMC - Solibri Model Checker

Capítulo 1

Introdução

Capítulo 1 – Introdução

1.1 - Enquadramento

1.2 - Objetivos e Metodologia

1.3 - Organização e estrutura da dissertação

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A construção civil é um dos setores com o índice mais elevado de acidentes de trabalho graves e mortais em Portugal. Este sector, em 2014, foi responsável por 30 % dos acidentes mortais, tendo reduzido em 2015 para 28%. Apesar desta ligeira redução, o mesmo não se verificou para os acidentes de trabalho graves, onde se verificou um aumento de 3% entre 2014 e 2015, aumentando de 29% para 32% (ACT, 2015).

É possível verificar que certos tipos de acidentes, continuam a acontecer vezes e vezes sem conta, tendo como uma das principais causas a singularidade do produto final, isto é, não existem dois projetos iguais. Aliado a este fator, tem-se um setor sensível, muito ligado a fatores políticos e económicos. Assim, pode-se verificar por vezes conflitos entre o processo de construção e as atividades suscetíveis a atrasos, como o planeamento da segurança em obra, notando-se uma separação em obra entre o projeto e a fase de implementação e construção (Swuste et al, 2012).

Por outro lado, tais valores poderão estar associados à fraca formação e falta de informação detalhada e atualizada, levando a uma despreocupação relativa à prevenção durante a fase de construção (Cardoso, 2009).

Esta atividade tem também outros aspetos que a distinguem de outras atividades. É caracterizada pelo fluxo de mão-de-obra para o local de trabalho, pela disparidade de atividades e profissões, e pelas constantes alterações no local de trabalho, com o avançar da obra. Analisando estes fatores, constata-se que as causas de acidentes não dependem unicamente de uma causa, mas sim de várias, desde as condições em estaleiro, condições meteorológicas, utilização inadequada dos equipamentos de proteção individual e coletiva, e a todos os fatores que podem levar a ações inseguras, como o não cumprimento das normas de segurança e a fadiga. Por outro lado, o conhecimento do perigo e do conseqüente risco pode

também influenciar a prevenção do mesmo pela percepção errada de que é possível controlá-lo, negligenciando-o (Lima, 2004).

Através da análise de estatísticas de acidentes de trabalho, é possível verificar que as suas taxas são inversamente proporcionais à idade das vítimas, isto é, trabalhadores mais novos têm taxas de acidentes mais elevadas. Tal acontece por a experiência de um trabalhador influenciar a forma de trabalhar do mesmo na tomada de decisões. No entanto, se por um lado a experiência pode ser benéfica, por outro pode tornar esse trabalhador mais resistente a mudanças na sua forma de trabalhar, quanto à introdução de novos sistemas de segurança e de novos métodos de trabalho. Nos Estados Unidos da América, o custo da ocorrência de um acidente é muitas vezes usado como argumento para influenciar os responsáveis das organizações sobre a importância da segurança em obra. Verifica-se, no entanto, que esta está muitas vezes diretamente relacionada com o respetivo projeto. Projetos com grandes limitações orçamentais têm uma taxa de acidentes mais elevada relativamente a projetos com menos limitações. Porém, em grandes empreitadas, o custo de certos acidentes é praticamente impercetível quando comparado com o valor global da obra, não tendo a influência devida (Swuste et al, 2012).

1.2. Objetivos e Metodologia

A presente dissertação pretende demonstrar a potencialidade da utilização da metodologia *Building Information Modeling* na prevenção de riscos durante a fase de projeto, através da criação de um procedimento de deteção automática de perigos com potencial para provocar o risco de queda em altura e ao mesmo nível, na análise de um modelo 3D BIM.

Ter-se-á como objetivo principal desenvolver um *plugin* para o Revit, de forma a avaliar os riscos relacionados com a construção de uma edificação e a forma de como os prevenir ainda em fase de projeto, relacionando esta metodologia com o que é atualmente praticado. Além da análise das vantagens na prevenção dos riscos em fase de projeto, através desta metodologia, pretende-se também gerar automaticamente elementos para o plano de segurança e saúde.

De forma a atingir os objetivos propostos para esta dissertação, foram definidas as seguintes fases de trabalho:

- Numa primeira fase foi efetuada a revisão bibliográfica com a finalidade de se conhecer os procedimentos atuais no âmbito da prevenção de riscos, com foco nas quedas em altura e ao mesmo nível, a regulamentação em vigor e por fim a metodologia BIM.
- A segunda fase consistiu na procura de um *software* BIM que disponibilizasse *API's (Application Program Interface)* que permitam o desenvolvimento de ferramentas por terceiros.
- Numa terceira fase procedeu-se à escolha da linguagem de programação a usar, assim como a esquematização das diversas janelas do *plugin* a desenvolver.
- A quarta fase abrangeu a programação do *plugin* e a criação das diversas interfaces de resultados, assim como a respetiva base de dados.
- Na quinta e última fase aplicou-se o *plugin* criado ao modelo, identificando os perigos de queda em altura e ao mesmo nível detetados automaticamente, e recolhendo a informação necessária para a sua prevenção. Da mesma forma foi aplicado o JHA para análise dos diversos elementos do modelo, com a validação da base de dados e exportação de uma ficha de segurança.

1.3. Organização e estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

O primeiro capítulo enquadra e fundamenta a dissertação, estabelece os objetivos e a metodologia, assim como a forma em como esta se encontra estruturada.

O segundo capítulo corresponde à revisão bibliográfica efetuada especificamente quanto à metodologia BIM. Apresenta o seu enquadramento, os diferentes domínios BIM atualmente existentes, bem como as principais vantagens e desvantagens da aplicação desta metodologia. São apresentados *softwares* adequados à implementação do BIM, a interoperabilidade existente entre estes e um processo a seguir para a implementação eficaz desta metodologia.

O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica mais dedicada à prevenção de riscos e ao conceito de *rule-check*. Inicialmente procedeu-se à análise da prevenção de riscos corrente, mais propriamente à forma de identificação dos perigos e sua prevenção, com ênfase na fase de projeto. É feito um enquadramento do conceito de *rule-check*, sendo apresentado o *framework* da sua implementação para o planeamento da segurança de um modelo BIM. Seguidamente é descrita a legislação e normas existentes, com foco nas situações de perigo de queda em altura, os dois tipos de modelação possíveis para esses perigos e, por fim a abordagem ao tema das API's.

O quarto capítulo corresponde ao caso de estudo, onde são demonstradas as interfaces do *plugin* criado, assim como a sua validação num modelo já existente. No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões finais da dissertação, as dificuldades sentidas e a proposta de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Building Information Modeling

Capítulo 2 – Building Information Modeling

2.1 - Enquadramento

2.2 – Diferentes domínios BIM

2.3 – Benefícios da utilização do BIM

2.4 – Desvantagens

2.5 – Software

2.6 – Interoperabilidade

2.7 – Implementação

2. Building Information Modeling

2.1. Enquadramento

Segundo a ISO 29481-1:2010, BIM pode ser definido como um conceito para descrever e visualizar informações necessárias na conceção, construção e operação de instalações construídas, reunindo os diversos conjuntos de informações utilizadas na construção num projeto comum, reduzindo ou mesmo eliminando o uso do papel.

O modelo resultante contém uma base de dados extensa e inteligente, tratando-se de uma representação paramétrica do projeto, onde os vários intervenientes podem extrair e analisar dados que podem apoiar as decisões a ser tomadas e contribuir para a melhoria dos projetos. (AGC, 2005)

O BIM distingue-se do CAD 2D e 3D na medida em que nestes, um edifício está definido por diversos desenhos 2D ou 3D com diferentes cortes e plantas, onde uma pequena correção num dos elementos de projeto leva a que seja necessário a verificação de todos os outros desenhos, aumentando a probabilidade de existência de erros. Por outro lado, estes desenhos 2D não passam de documentos com pouca informação, enquanto que num modelo BIM se tem objetos parametrizados bem definidos e caracterizados, (como paredes, vigas, pilares, etc.). Um modelo BIM, além da caracterização física, abrange também outros fatores como a informação geográfica, quantidades e propriedades dos materiais, estimativas de custo e o planeamento de todo o projeto, sendo possível visualizar todo o ciclo de vida da edificação. Tal permite que exista uma relação entre os diversos materiais, desenhos e fases do projeto, sendo mais fácil a extração de informação do projeto como um todo (Azhar et al, 2007). Assim, o modelo BIM pode conter toda a informação relativamente ao desempenho ao longo de toda a vida útil da edificação. Um exemplo desta aplicação é o sistema de ar condicionado, relativamente ao qual é possível adicionar no modelo toda a informação relativa a este, desde o fabricante, modo de operação, consumos e procedimentos de manutenção (CRC Construction Innovation, 2007).

Na Figura 1 é possível verificar visualmente as diferenças do modelo BIM em relação ao desenho 2D.

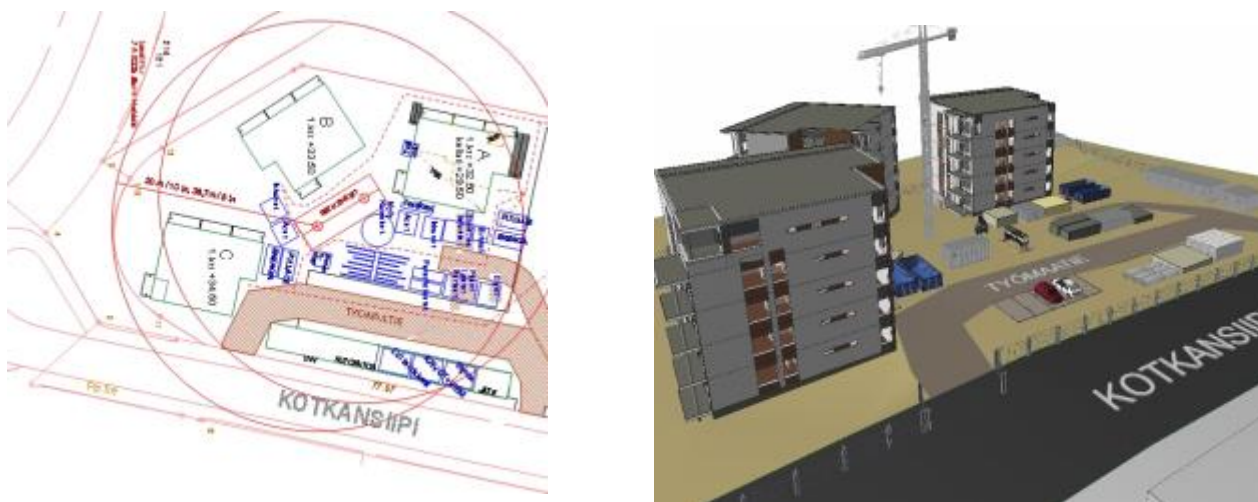


Figura 1 - Modelo BIM em comparação com desenho tradicional 2D (Sulankivi et al, 2009)

No modelo BIM qualquer alteração que seja necessário fazer resulta na atualização automática de todas as vistas do projeto, existindo sempre a possibilidade de consultar o custo previsto e comparar com o custo atual, além de simular toda a sequência do processo de construção. Tal permite organizar todo o processo, desde a encomenda de material e fabricação às respetivas datas de entrega, e efetuar todo o planeamento e controlo do progresso da construção. No âmbito da fase de utilização do edifício, permite por exemplo simular a implementação de planos de evacuação, programar os planos de manutenção e mesmo de reabilitação (Azhar et al, 2007).

2.2. Diferentes domínios BIM

Com a evolução e desenvolvimento do conceito BIM, têm surgido vários domínios (nD) que caracterizam diferentes fases do ciclo de vida de uma edificação, desde a sua conceção, até à sua manutenção e exploração.

O modelo 3D usado na conceção, permite que qualquer interveniente, desde arquitetos, engenheiros, construtores, ao próprio proprietário, visualize o modelo do projeto e analise a existência de problemas espaciais e estruturais, bem como

detetar automaticamente erros e colisões entre as várias especialidades (Eastman et al, 2011).

A quarta dimensão (4D) corresponde ao processo de planeamento e gestão, em que é possível adicionar as atividades inerentes ao modelo do projeto e usá-las posteriormente para apoiar a fase de construção, permitindo todo o planeamento do fluxo de trabalho, desde a gestão de equipas, à encomenda de materiais aos fornecedores (Eastman et al, 2011).

Com base no 4D, surge a quinta dimensão (5D), onde, associado ao planeamento, é possível associar custos às atividades e assim obter um orçamento, quer de cada atividade, quer de todo o projeto, permitindo também que no caso de necessidade de alterações de projeto, facilmente se obtenha um novo orçamento em tempo real (Eastman et al, 2011).

A sexta dimensão (6D) está relacionada com a gestão das instalações, em que o detalhe e o pormenor de um modelo BIM, na descrição e relações existentes entre os elementos permite otimizar a manutenção de uma edificação durante o ciclo de vida da mesma, através de uma base de dados de gestão de ativos (Eastman et al, 2011).

Por fim, a sétima dimensão (7D) está ligada sustentabilidade, com o objetivo de analisar os consumos energéticos com vista à redução dos mesmos através da escolha dos materiais e sistemas mais adequados para atingir os objetivos pretendidos (Eastman et al, 2011).

2.3. Benefícios da utilização do BIM

A introdução e utilização do BIM logo na fase inicial do projeto até à conclusão da obra, e durante a sua fase de utilização traz benefícios para os diversos intervenientes envolvidos. A maior influência de todas reside na gestão do projeto, em que a metodologia BIM permite facilmente a troca de ideias e de opiniões entre a equipa projetista durante a criação do modelo, devido à possibilidade de atualizações automáticas e constantes do mesmo, a nível de desenho, do cronograma temporal e custo associado, reduzindo o tempo de trabalho e a probabilidade da ocorrência de erros e omissões (Bryde et al, 2013).

Assim, a possibilidade de deteção de incompatibilidade entre elementos do modelo das diferentes especialidades de projeto permitem que sejam feitas as correspondentes correções logo na fase de projeto, minimizando as alterações que teriam de ser feitas durante a fase de construção (Eastman et al, 2011).

A integração que os modelos permitem entre todos os elementos geométricos do edifício e as bases de dados de diversos sistemas traduzem-se em 7 benefícios principais (Azhar et al, 2007):

- Rapidez – a informação pode ser facilmente partilhada, detalhada e reutilizada;
- Melhores projetos – as propostas podem ser rigorosamente analisadas,
- Custos controlados – melhor compreensão dos custos durante o tempo de vida útil;
- Melhor controlo de qualidade – documentação é mais flexível;
- Montagem automática – os dados podem ser usados para a fabricação e montagem da estrutura;
- Melhor serviço – visualização detalhada das propostas, permitindo a sua melhor compreensão;
- Informação útil – dados de requisitos, conceção, construção e operações podem ser utilizados na gestão de edificações e instalações.

Estes benefícios traduzem-se em (CIFE, 2007):

- Redução de até 40% de custos relacionados com trabalhos a mais;
- Estimativas de custo com erros máximos de 3%;
- Redução de até 80% no tempo necessário para gerar uma estimativa de custo;
- Reduções de até 7% do tempo necessário para a realização do projeto;
- Economia de 10% do valor de contrato resultantes da resolução de conflitos.

2.4. Desvantagens

Sendo o BIM uma nova metodologia de trabalho no sector da construção, a sua aceitação ainda é bastante reduzida, pois a sua utilização acarreta novos processos e rotinas de trabalho que se irão traduzir em mais tempo gasto. Atualmente, vários

autores consideram a existência de dois tipos de barreiras na adoção do BIM, barreiras processuais e barreiras tecnológicas (Ferreira, 2011).

Consideram que as barreiras processuais atuais são:

- O mercado ainda não estará preparado para receber o BIM, por se encontrar ainda numa fase de inovação;
- A obra ou empreendimento já se encontrarem financiados e o projeto completo, não valendo a pena a implementação do BIM;
- Os custos e curva de aprendizagem serem elevados;
- Todos os intervenientes terem de estar dispostos a utilizar o BIM de forma a valer a pena;
- A existência de demasiadas barreiras legais, demasiado caras para serem alteradas;
- A apropriação e gestão do modelo exige elevados recursos ao proprietário.


Como barreiras tecnológicas referem:





- A tecnologia está pronta para uma única disciplina, não para o projeto integrado;
- As normas ainda não estão definidas ou amplamente adotadas.

2.5. Softwares

De forma a investigar as soluções existentes, foi feita a análise de diversos *softwares* relacionados com a metodologia BIM, que se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1 - Softwares disponíveis no mercado, adaptado de (Antunes, 2013)

Fabricante	Produto
 AUTODESK	Revit Architecture
	Revit Structure
	Revit MEP
	Navisworks
GRAPHISOFT	Archicad
	MEP Modeler
	EcoDesigner

Fabricante	Produto
	Architecture
	Structural Modeler
	Building Mechanical Systems
	Building Electrical Systems
	Facilities
	Tekla Structures
	Tekla Model Sharing
	Tekla Structural Designer
	Tekla BIMsight
	Office
	Constructor
	Estimator
	Control
	Cost Manager
	5D Presenter
	Model Checker

2.5.1. Autodesk Revit

O Revit é um *software* desenvolvido pela Autodesk que suporta a metodologia BIM desde a fase conceptual até à sua construção, assim como a posterior gestão do ciclo de vida do edifício. A sua utilização permite a criação de modelos 3D com precisão e detalhe através de objetos paramétricos existentes ou pela importação de modelos geométricos existentes, representando uma grande evolução comparativamente a *softwares* CAD. Além de objetos dedicados à arquitetura e estrutura, inclui também diversas ferramentas e funcionalidades dedicadas aos projetos mecânicos, elétricos e de redes de águas e esgotos (MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*), assim como uma eventual análise estrutural e utilização da topografia local, com elaboração da lista de quantidades e medições de todo o processo construtivo. É um *software* que tem em conta a interoperacionalidade não só entre equipa, mas também no facto de suportar os formatos *standard* da

indústria como o IFC e o DWG, permitindo a colaboração em tempo real. Capaz de elaborar animações virtuais do modelo, possibilita a integração com o Autodesk Navisworks, *software* do mesmo fabricante, para a elaboração do planeamento das atividades e controlo de custos (Antunes, 2013).

2.5.2. Solibri Model Checker

O Solibri Model Checker (SMC) é um *software* que se distingue dos restantes por ter como finalidade a análise de modelos BIM para verificação da integridade (deteção de erros e colisões) do mesmo. Não se destinando à criação do modelo, permite revelar potenciais falhas durante a conceção do projeto a nível de desenho, como por exemplo a colisão de objetos. Para tal, dispõe de um conjunto de regras aplicáveis no modelo que permitem através de um clique, verificar a consistência entre a arquitetura e os projetos das diferentes especialidades, assim como visualizar e exportar eventuais erros que necessitam de ser corrigidos. De forma a ser compatível com os diversos *softwares* de modelação, o SMC suporta o formato IFC (Nemetschek, 2016).

2.6. Interoperabilidade

Com a existência e utilização de diversos *softwares* BIM pelas equipas de projeto, passaram a existir diversos formatos de ficheiros para os modelos BIM, resultando na incompatibilidade entre os mesmos, o que origina dificuldades e perdas de informação (Migilinskas et al, 2013).

Assim, para conseguir usufruir da metodologia BIM, a interoperabilidade é fundamental, não só pelas diversas funcionalidades que possui, mas pela possibilidade de colaboração entre todos os intervenientes no projeto, permitindo a integração através de relações colaborativas entre os intervenientes dos vários domínios da construção (Soares, 2013).

Como é possível observar na Figura 2, o BIM incorpora diferentes processos que outrora eram isolados. A aplicação deste método integrado leva à existência de um modelo único, onde existe uma sucessão de informação e coordenação em todo o processo do ciclo de vida do edifício, possibilitando uma perceção constante de

diversos fatores como custos, planeamento, logística, operação e manutenção (Clemente, 2012).

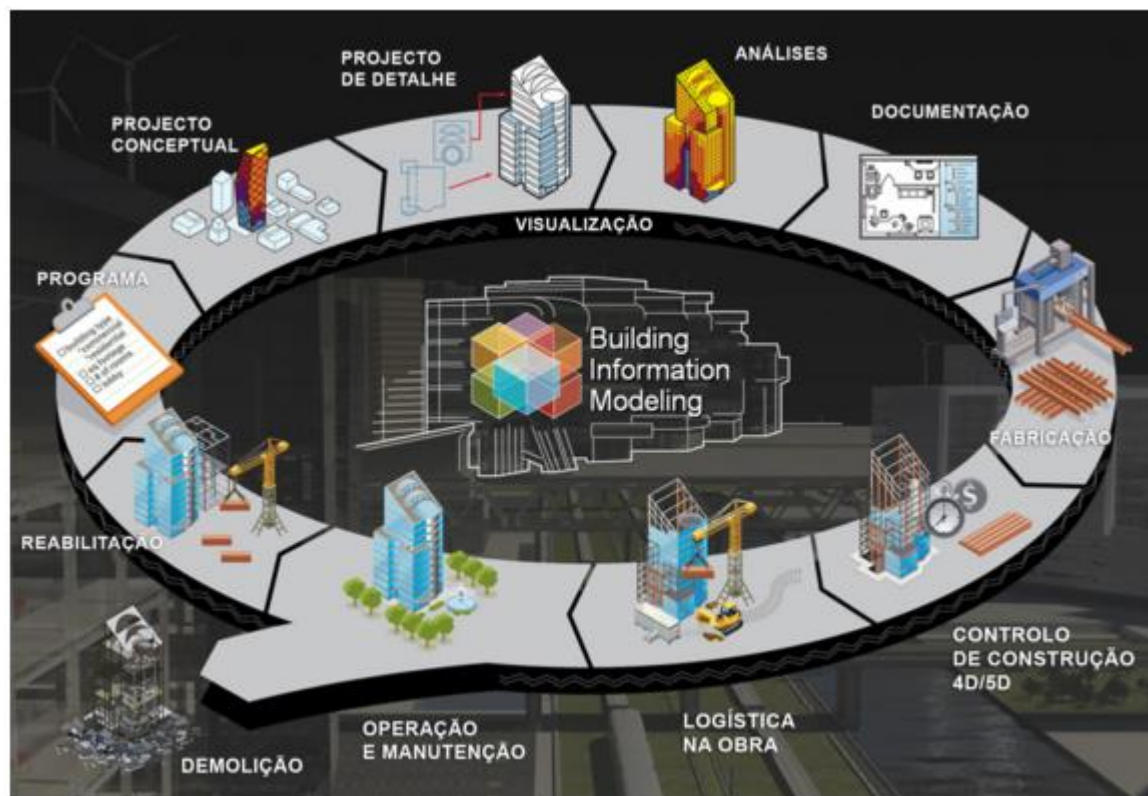


Figura 2 - Ciclo de vida de um projeto (adaptado de Autodesk 2009)

No entanto, para uma comunicação eficaz entre os diversos intervenientes, todos teriam de usar o mesmo *software*. Como já referido, tal não acontece. Desse modo, Hamil (2012) considera a existência de três níveis diferentes de interoperabilidade:

- **Interoperabilidade entre *softwares* do mesmo fornecedor**

A forma mais fácil de interoperabilidade surge quando todos os intervenientes utilizam *software* do mesmo fornecedor, dada a preocupação deste em manter um nível de compatibilidade elevado para incentivar a utilização do restante *software* desenvolvido por si.

- **Interoperabilidade entre *softwares* de diferentes fornecedores**

Devido aos diversos intervenientes, este tipo de interoperabilidade é mais comum de encontrar do que a primeira. O procedimento em projeto passa pela equipa projetista detalhar os produtos usados e a forma de execução, incluindo as normas e regulamentos usados.

- **Interoperabilidade através de normas de dados abertas**

Este último método é destinado à partilha de informação entre diversos softwares através de normas abertas, isto é, normas livres que podem ser usadas por qualquer fornecedor, permitindo que um modelo BIM possa ser criado e modificado por qualquer interveniente, independentemente do *software* que usa, e com perda de informação mínima.

Foi assim necessário colmatar essa falha através da criação dum formato aberto, que não fosse controlado apenas por uma entidade e que permitisse a partilha e interoperabilidade no sector da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). De diferentes soluções idealizadas, surge o Industrial Foundation Class (IFC), uma norma padrão estabelecida atualmente pela ISO 16739:2013, que representa a informação que é partilhada entre diferentes *softwares* durante a fase de construção e de manutenção de uma edificação. (Wetzel & Thabet 2015).

Esta iniciativa foi iniciada em 1994 pela Autodesk de forma a ser possível a integração entre diferentes aplicações. Com o interesse e integração de outros fabricantes, surgiu uma organização neutra responsável pelo desenvolvimento do formato IFC, que contém um repositório de informação aberta que inclui informação relativa a objetos, geometria, propriedades, assim como a relação entre os mesmos durante as diversas fases da construção, a qual se designa atualmente por buildingSMART (Maia et al, 2015).

2.7. Implementação

Para a implementação eficaz do BIM, é necessário ocorrerem grandes mudanças nas formas e operações atuais da construção. No entanto, como já referido, a longo prazo existem benefícios da sua utilização, permitindo estabelecer um ambiente de trabalho consistente e aumentar a produtividade. Para tal, Fernandes (2013) considera 6 conceitos como medidas de boas práticas a aplicar:

- Assegurar que a informação é introduzida somente uma vez durante o ciclo de vida do edifício, pelo responsável máximo do projeto;
- Envio e receção de informação da forma mais eletrónica possível;
- Integrar a introdução de informação e respetiva validação como um processo típico de rotina;

- Recolher toda a informação relevante de uma só vez;
- Enfatizar a importância da recolha de informação e da sua qualidade;
- Adotar padrões abertos sempre que possível.

Como é mostrado na Figura 3, com o avançar das diferentes fases de um projeto, a possibilidade de influenciar os custos vai diminuindo (representado na figura 2 pela curva 1), sendo a fase de projeto essencial para elaborar e modificar o projeto, dado que os custos de eventuais alterações serão sempre mais elevados a partir do momento em que é iniciada a construção, uma vez que, para aplicação das alterações, pode mesmo ser necessário proceder a demolições (curva 2). Considerando as duas curvas referidas, e o esforço necessário na elaboração de toda a documentação e pormenorização a preparar para o início da construção e posterior manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação, pode-se verificar que a fase ideal para a implementação de qualquer alteração e para o desenvolvimento de todo o detalhe é a inicial, mais especificamente a fase de projeto, sendo a que irá trazer mais benefícios na implementação de um fluxo de trabalho em BIM (curva 4), em vez do método tradicional (curva 3) onde grande parte destes elementos são preparados numa fase posterior, com custos mais elevados quando é necessário executar alterações (Fernandes, 2013).

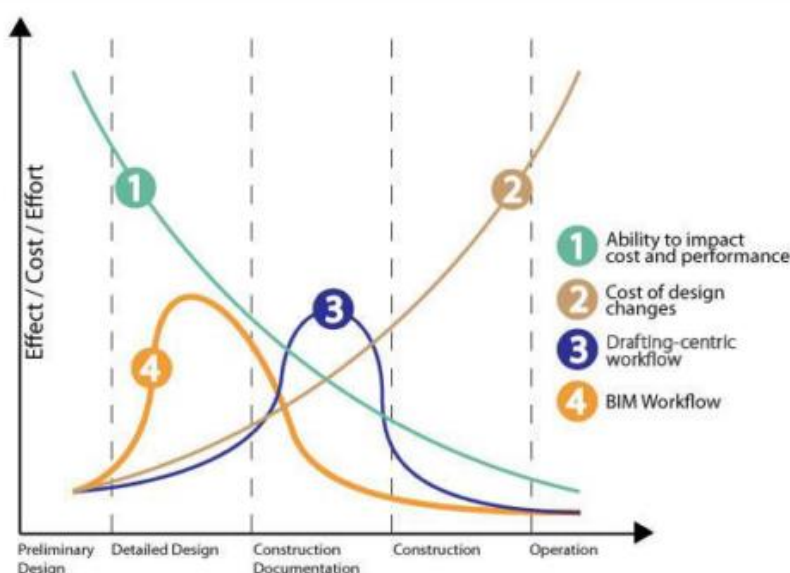


Figura 3 - Custo das alterações em projeto (Fernandes, 2013)

Esta abordagem proporciona uma maior capacidade de controlo de custos, não só por a grande parte das alterações serem feitas em projeto, mas por permitir um processo de construção mais seguro e mais eficiente do ponto de vista económico, com menos erros e omissões.

Capítulo 3

Prevenção de riscos através da metodologia BIM

Capítulo 3 – Prevenção de riscos através da metodologia BIM

3.1 – Princípios gerais de prevenção

3.2 – Prevenção de riscos

3.2.1 – Identificação de perigos e avaliação de riscos

3.2.2 – Metodologia de prevenção corrente

3.2.3 – Prevention through Design

3.3 – Rule-check

3.3.1 – Enquadramento

3.3.2 – Framework

3.3.3 – Desenvolvimento das regras

3.3.4 – Aplicação das regras

3.3.5 – Modelação

3.3.6 – Job Hazard Analysis

3.4 – API's

3. Prevenção de riscos através da metodologia BIM

3.1. Princípios gerais de prevenção

A metodologia de prevenção de riscos ocupacionais tem subjacente a aplicação dos princípios gerais de prevenção de riscos profissionais (PGPRP) na escolha e definição das medidas a aplicar, estabelecidos na Diretiva 89/391/CEE, de 12 de Junho, atualmente transposta para o direito interno pela Lei nº102 e atualizada pela Lei nº3/2014, de 28 de Janeiro que tem como objetivo aplicar medidas que promovam a segurança e saúde dos trabalhadores, que consistem em:

- Evitar o risco;
- Planificar a prevenção como um sistema coerente que integre a evolução técnica, a organização do trabalho, as condições de trabalho e a influência dos fatores ambientais;
- Identificação dos riscos previsíveis em todas as atividades, com vista à eliminação dos mesmos ou, quando não é viável, reduzir os seus efeitos;
- Integração da avaliação dos riscos para a segurança e saúde do trabalhador no conjunto das atividades, devendo adotar as medidas adequadas de proteção;
- Combater o risco na origem, por forma a eliminar ou reduzir a exposição ao risco;
- Assegurar que as exposições aos agentes químicos, físicos e biológicos não constituem risco para a segurança e saúde do trabalhador;
- Adaptar a atividade ao trabalhador;
- Ter em conta o estado de evolução da técnica;
- Substituir o que é perigoso pelo que não é ou é menos perigoso;
- Priorizar sistemas e equipamentos de proteção individual em detrimento das medidas de proteção individual;
- Transmitir instruções adequadas aos trabalhadores;

O primeiro princípio existe essencialmente para enfatizar o principal objetivo a ter em conta na coordenação da segurança na fase de projeto, evitar e eliminar qualquer situação de perigo que se possa concretizar em riscos na fase de execução e nas intervenções durante a fase de utilização da edificação, e proceder à organização de todas as atividades e soluções ajustadas ao projeto, através da escolha de materiais, equipamentos e processos não perigosos ou menos perigosos. No entanto tal nem sempre é possível, devido à existência de atividades em que o perigo estará sempre presente. Nestas situações procede-se à análise do processo construtivo e das respetivas consequências, avaliando o tipo de risco inerente, de forma a decidir sobre quais as medidas de segurança a implementar, ou, o risco é de tal forma elevado, que a melhor solução passa por alterar a solução escolhida. Independentemente do tipo de solução adotada, a decisão sobre qual utilizar deve ser feita prontamente na fase inicial de conceção sobre a própria origem do perigo. Não é possível, no entanto, fazer toda a prevenção em fase de projeto devido à existência de outras variáveis. O quarto princípio aborda uma situação que é necessário realizar já durante a fase de execução. Um Homem tem diferentes capacidades físicas e psíquicas, resultando em diferentes competências e experiências na execução de um trabalho e na utilização de máquinas e ferramentas. Assim, deve existir uma correta adaptação dos meios disponíveis aos trabalhos a executar (Cabrito & Branco 2006).

A evolução permite o aparecimento constante de novos materiais, equipamentos e técnicas de trabalho, possibilitando novas e melhores condições de segurança e saúde para o trabalhador, ao mesmo tempo que possibilita ao empregador aumento de produtividade e redução de custos. Da mesma forma, a evolução de equipamentos e materiais permite a redução ou mesmo eliminação dos perigos, pela criação de novos mecanismos e novas soluções que substituem situações perigosas. A planificação da prevenção em obra é um dos fatores mais importantes na redução do risco, pois permite logo em fase de projeto definir, avaliar e organizar as precauções necessárias no decorrer da execução da obra quer em relação aos equipamentos e materiais, quer ao nível da organização do estaleiro. A planificação permite também que não exista sobreposição e sobrecarga de recursos que

possam promover o desgaste psicológico e eventuais fatalidades (Cabrito & Branco 2006).

Na aplicação de sistemas de proteção em obra, deve-se optar principalmente por sistemas de proteção coletiva, e só quando estes não são eficazes para tarefas em que o risco é mais elevado, recorrer a medidas de proteção individual. Tal deve ser assim considerado pelo facto de que um sistema de proteção coletivo atua perante todos os elementos presentes em obra, além de que grande parte destes sistemas perduram durante grande parte da execução desta, como por exemplo os sistemas de guarda-corpos e as redes de proteção de quedas em altura. No entanto podem existir trabalhos em que a proteção coletiva não é eficaz, requerendo assim a utilização de sistemas de proteção individuais que se adequam ao trabalho e ao Homem (Cabrito & Branco 2006).

Por fim, deve existir um fluxo de informações e instruções adequadas aos trabalhadores que possibilite uma aprendizagem dos processos construtivos e da prevenção e proteção quanto aos respetivos riscos, para o aumento das suas capacidades perante situações de risco (Cabrito & Branco 2006).

3.2. Prevenção de riscos

A prevenção de riscos no setor da construção é desenvolvida com base, em grande parte, em desenhos 2D (Figura 4), no Plano de Segurança e Saúde e nos elementos de planeamento da obra (Chantawit et al, 2005).

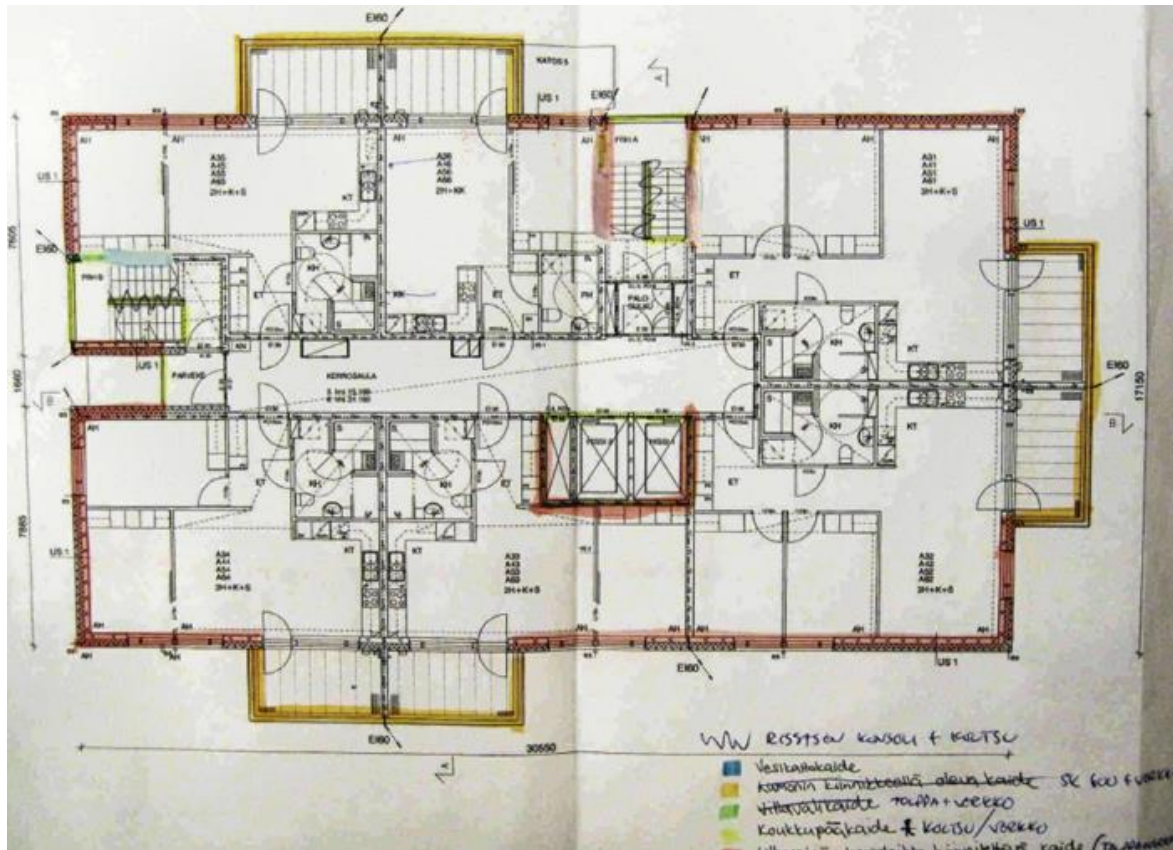


Figura 4 - Desenho 2D relativo à identificação das zonas com risco de queda em altura (Zhang et al, 2015)

O Plano de Segurança e Saúde (PSS) tem como finalidade estabelecer regras e procedimentos a adotar, visando a prevenção de riscos e doenças profissionais e definindo fatores essenciais a serem respeitados pela entidade executante da obra. Este vai sendo alterado e especificado consoante as necessidades e evolução da obra, por qualquer um dos seus intervenientes na fase de execução, no intuito de o melhorar (Palito, 2012).

No entanto, a informação para elaboração de um PSS encontra-se fragmentada entre regulamentações em vigor, registos de acidentes de trabalho, práticas corretas além da experiência de cada interveniente (Zhang et al, 2015).

3.2.1. Identificação de perigos e avaliação de riscos

A segurança no trabalho está diretamente relacionada com a prevenção de acidentes. Para tal, é necessário a compreensão das diferenças entre um perigo e risco, de forma a atuar de forma segura e correta.

De acordo com a OHSAS 18001:2007 e NP 4397:2008, pode-se definir:

- Perigo como a propriedade ou capacidade intrínseca (física, química, biológica, ...) de algo (materiais, substâncias, produtos, máquinas, equipamentos, métodos e práticas de trabalho), potencialmente causadora de danos às pessoas (ferimentos, danos à saúde, morte);
- Risco como a combinação da probabilidade da ocorrência de um evento perigoso ou exposição e a severidade do dano ou doença que pode ser causada pelo evento ou exposição;
- Condição perigosa como a condição com potencial para provocar lesões nas pessoas.

A avaliação de riscos é um método que permite avaliar de forma qualitativa e/ou quantitativa o risco associado a uma fonte de perigo identificado, garantindo que é tomada a decisão correta para a sua prevenção. Para tal, existem diversos métodos com características próprias, mas com fins comuns, sendo distinguidos entre métodos qualitativos, métodos semi-quantitativos e métodos quantitativos, como é demonstrado na Figura 5 (Carneiro, 2011).

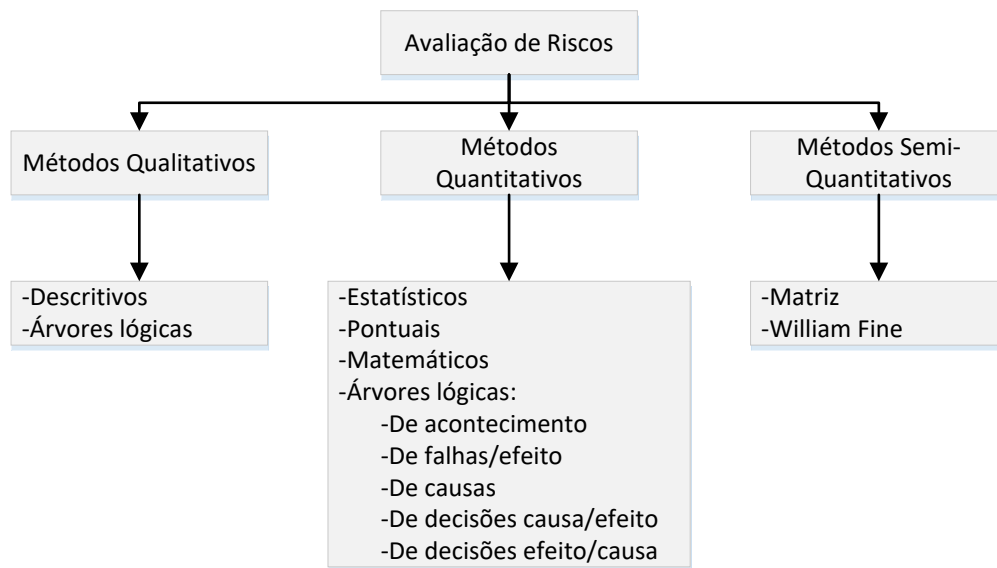


Figura 5 - Métodos de avaliação de riscos (Carneiro, 2011)

Os métodos qualitativos têm como objetivo a identificação de todos os perigos e os seus efeitos potenciais, facilmente reconhecidos pela sua observação. Este tipo de métodos não pretende chegar a uma quantificação global, mas sim a uma avaliação final, através de listas de verificação, análise de tarefas e auditorias de segurança (Carneiro, 2011).

Os métodos quantitativos, como o nome indica, quantifica o risco pela sua probabilidade e gravidade. Com a utilização de modelos matemáticos, estes métodos atribuem um valor numérico aos diversos fatores que agravam o risco, mas também aos que aumentam a segurança, possibilitando a obtenção de um valor final para o risco (Carneiro, 2011).

Os métodos semi-quantitativos são usados quando é considerado que os métodos quantitativos não são suficientes. Através de métodos com o da matriz ou de William Fine, são atribuídos índices a situações de risco previamente identificadas, tendo em conta fatores como as consequências do acidente, o grau de exposição ao risco ou a probabilidade de o acontecimento ocorrer (Carneiro, 2011).

De seguida é apresentada a hierarquia dos maiores acidentes em construção adaptado de (Swuste et al, 2012):

- Queda em altura;
- Contacto com objeto em queda/colapso;
- Contacto com eletricidade;
- Contacto com máquinas em movimento;
- Queda de uma plataforma em movimento;
- Contacto com objetos içados e pendurados;
- Atingido por veículos em movimento;
- Pressionado entre/contra objetos;
- Atingido por objetos projetados.

A fase de projeto é a fase ideal para a identificação dos diferentes perigos e riscos. A análise dos mesmos durante a fase de conceção possibilita a escolha de soluções adequadas tendo como objetivo a implementação dos princípios gerais de prevenção, permitindo a elaboração de um plano de segurança específico às características do projeto. Para tal, apresenta-se na Tabela 2 um exemplo de

identificação de perigos, condições perigosas e riscos, existentes na operação de montagem de uma estrutura metálica.

Tabela 2 - Identificação de perigos e riscos numa operação de montagem de uma estrutura metálica

Descrição da atividade	Perigos	Condições Perigosas	Riscos
Montagem de estrutura metálica;	Grua;	Trabalho em altura;	-Queda de elementos da estrutura; -Queda de materiais / equipamentos de diferentes níveis;
		Movimento de elementos instáveis;	-Entalamento; -Contacto direto ou indireto com eletricidade.
	Equipamento elétrico / ferramentas;	Trabalho de manobrador dos equipamentos;	-Risco de exposição ao ruído.
	Plataforma de trabalho em altura;	Trabalho em altura;	Queda de pessoas;

3.2.2. Metodologia de prevenção corrente

A gestão da segurança está presente em toda a fase da obra, desde o seu planeamento, à sua realização. Todo o planeamento de segurança é efetuado antes do início da construção, de forma a determinar quais as medidas de segurança necessárias. No entanto, como se baseia em peças de projeto em 2D (Figura 6), existe dificuldade em se visualizar as diferentes condições de perigo (Chantawit et al, 2005).



Figura 6 - Programação temporal do projeto em obra (Merivirta, 2011)

De acordo com a legislação em vigor, com destaque para o Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, simultaneamente com o processo de pedido de construção, constitui um requisito legal a apresentação do Plano de Segurança e Saúde em fase de projeto, que estabelece os aspetos fundamentais a serem respeitados pela Entidade Executante, no desenvolvimento e especificação do PSS para a execução da obra, documento esse que tem de ser do conhecimento de todos os intervenientes no estaleiro (Palito, 2012).

Com um carácter evolutivo, o conteúdo deste deve abranger principalmente documentos de avaliação de riscos relativamente às tarefas a executar, assim como as respetivas medidas preventivas. No caso da existência de riscos especiais, estes devem ser discriminados relativamente aos riscos correntes, devendo ser examinados e detalhados (Faria, 2014).

O Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de outubro, no seu Anexo II define a estrutura que o PSS deve adotar assim como os elementos necessários a incluir no Anexo III. De forma sucinta, é apresentada nas Tabela 3 e Tabela 4, os principais domínios que o constituem em fase de projeto e em fase de obra respetivamente.

Tabela 3 - Principais domínios que devem constituir o PSS em fase de projeto (Coutinho, 2012)

PSS em fase de projeto
Identificação do estaleiro e da obra
Intervenientes da construção
Intervenientes da coordenação de segurança
Previsão da comunicação prévia
Memória descritiva com tipo de edificação, uso previsto, opções arquitetónicas, definições estruturais e restantes especialidades, características geológicas, geotécnicas e hidrológicas do terreno e condicionantes que possam interferir na execução dos trabalhos
Organização e gestão do estaleiro, soluções e técnicas preconizadas, fases de execução, organização e cronologia dos trabalhos com as entidades executantes envolvidas, produtos e materiais a utilizar
Sistema de gestão da SST no estaleiro indicando os domínios de responsabilidade de cada interveniente
Definição dos circuitos de responsabilidade e de comunicação no estaleiro
Planeamento e aplicação das medidas de controlo de prevenção abrangendo as fases do processo de execução da obra, sequência operacional do processo construtivo, plano de proteção coletiva e individual, avaliação dos riscos e organização de emergência, relativamente a primeiros socorros e evacuação de trabalhadores

Tabela 4 - Principais domínios que devem constituir o PSS em fase de obra (Coutinho, 2012)

PSS em fase de obra
Âmbito e objetivo do desenvolvimento prático
Organização do sistema de gestão da segurança, com organograma e descrição de funções e responsabilidades
Gestão da comunicação entre todos os intervenientes na empreitada
Cronogramas detalhados que incluem trabalhos, mão-de-obra, equipamentos e materiais a utilizar
Projeto de estaleiro
Planos de circulação e de sinalização do estaleiro, de sinalização e ocupação da via pública, de condicionalismos do local, de utilização e controlo de equipamentos de estaleiro, de proteções coletivas, de formação e informação, de emergência, de inspeção e prevenção, de acidentes e índices de sinistralidade
Procedimentos de inspeção e de prevenção
Registo das atividades de prevenção e dos riscos profissionais
Anexos

Da mesma forma, deve ser iniciada na fase de projeto a elaboração da a Compilação Técnica (CT), que visa a prevenção de riscos na fase de utilização e manutenção, para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos nos trabalhos a realizar nessa fase. Este documento funciona como um Manual de Utilização da obra construída, sob o ponto de vista da prevenção de riscos ocupacionais. Deve indicar os procedimentos de manutenção dos diversos equipamentos instalados em obra, assim como os procedimentos de intervenção para manutenção (condições de iluminação, contacto com substâncias perigosas, reparações em coberturas, trabalho de pinturas, etc ...) (Faria, 2014).

Ambos os documentos (PSS e CT) são elaborados sob a responsabilidade do coordenador de segurança em projeto (CSP), devendo no entanto conter as contribuições das diversas entidades executantes e do coordenador de segurança em obra (CSO) (Faria, 2014).

O CSP deve estar integrado na equipa de projeto, tendo como principal função assegurar que a segurança e saúde dos trabalhadores é tida em conta na preparação do projeto de execução. Além da preparação dos dois documentos já referidos, deve atuar perante os projetistas na fase de elaboração, analisando ao longo do seu desenvolvimento os projetos de arquitetura e especialidades, indicando soluções para a minimização dos riscos (Faria, 2014).

Uma obra é um local dinâmico, com diversas tarefas a ocorrer em simultâneo entre diversos trabalhadores. Estes devem, sempre que possível, contribuir para a avaliação de riscos no seu local de trabalho, que pode ser feita através de listas de verificação para diversos tipos de atividades, como as que envolvem risco de queda em altura não identificadas previamente, ou para os que não existam equipamentos de proteção coletiva e individuais necessários (ver exemplo apresentado no anexo A).

No entanto, nem sempre é possível a identificação de todos os perigos e consequentes riscos, existindo todo um conjunto de fatores que proporcionam o aparecimento de ineficiências nos planos de segurança, tais como (Chantawit et al, 2005):

- Detecção de possíveis perigos e identificação de medidas de segurança, com base na experiência dos projetistas (fase de projeto) ou dos técnicos da fase de execução;
- Medidas de segurança inexistentes nos planos de segurança;
- A dificuldade de identificar os potenciais riscos durante as diferentes fases do projeto através de desenhos em 2D;
- Alterações constantes ao cronograma temporal da obra, dependendo de diversos fatores como o estado meteorológico e entrega de materiais por parte dos fornecedores, sendo posteriormente necessário reformular o plano de segurança, consumindo tempo e recursos.

3.2.3. Prevention through Design

Na década de 90, com o objetivo de advertir os projetistas para a importância que estes têm na prevenção de acidentes na construção, surge o conceito de *Prevention through Design* (PtD), que considera a fase de projeto como fundamental para influenciar a prevenção em obra (Cardoso, 2009).

Este conceito tem como finalidade a integração da análise de perigos e avaliação de riscos na fase inicial de um projeto de execução, com a tomada de decisões para a redução dos riscos para níveis aceitáveis. Além disso, com a aplicação do PtD, seria possível obter benefícios como o aumento da produtividade, diminuição dos custos de operação e evitar custos elevados de reabilitação (Manuele, 2008). Toole & Gambatese (2008) defendem que para tal prevenção de riscos, um projeto de construção irá evoluir com base nas seguintes medidas:

- Aumento do uso de materiais pré-fabricados;
- Utilização de materiais e sistemas menos perigosos;
- Maior aplicação de engenharia de construção;
- Aplicação das considerações espaciais para redução de riscos.

A utilização da pré-fabricação pode reduzir o perigo de uma atividade em duas fases, inicialmente, garante que o trabalhador não esteja, ou esteja menos tempo em locais de risco, como por exemplo em altura, na montagem de elementos de uma cobertura, em que se reduz o tempo de exposição ao risco de queda, ou na

instalação de tubagens em valas, eliminando o risco de exposição ao soterramento. Por outro lado, a pré-fabricação altera o local do trabalhador da zona de construção para a fábrica, com processos de trabalho mais seguros e automatizados (Toole & Gambatese, 2008).

A escolha dos materiais a serem utilizados na obra tem como critério base o seu custo e rendimento esperado, não tendo em conta a segurança dos trabalhadores, quer durante a construção, quer durante a manutenção durante o tempo de vida útil do edifício. Contudo, o evoluir das tecnologias de informação tem permitido aos projetistas a obtenção de informação sobre os riscos associados a diversos materiais, utilizando-a nas decisões a tomar em projeto e aplicando assim materiais com a mesma eficiência, mas com menos riscos na sua aplicação para o trabalhador (Toole & Gambatese, 2008).

Durante a fase de construção é necessário planear ou executar determinadas tarefas, como sistemas de entivação do solo ou estruturas temporárias de apoio, em que são indispensáveis os princípios de engenharia devido aos esforços e tensões envolvidos (Toole & Gambatese, 2008).

É também importante as considerações espaciais de proximidade, onde se tem em conta a envolvente da construção que é muitas vezes ignorada, quer para reduzir custos, quer para não sobrecarregar os desenhos de projeto. No entanto, com o aumento da preocupação com a prevenção de riscos através do projeto por parte dos projetistas, está a começar a ser incorporado nesta fase, por exemplo, a distância mínima de segurança de proximidade de gruas à rede elétrica ou a largura mínima necessária de escavação para colocação e ligação de tubagens (Toole & Gambatese, 2008).

Desta forma, durante todo o processo de projeto, os profissionais responsáveis por essa fase terão sempre em conta a segurança dos trabalhadores, através da eliminação de perigos desnecessários e da utilização de documentos que alertem para os perigos e riscos das tarefas, assegurando assim a segurança dos trabalhadores como uma prioridade (Toole & Gambatese, 2008).

Tais medidas, entre outras que possam contribuir para uma melhor segurança na fase de execução, devem ser tidas em conta durante a fase de projeto, pois esta é a fase ideal para efetivamente se implementar níveis mais elevados de segurança.

Como ilustra a Figura 7, com o avançar das diferentes fases dum projeto, a capacidade de influenciar a segurança vai diminuindo (Behm, 2005).

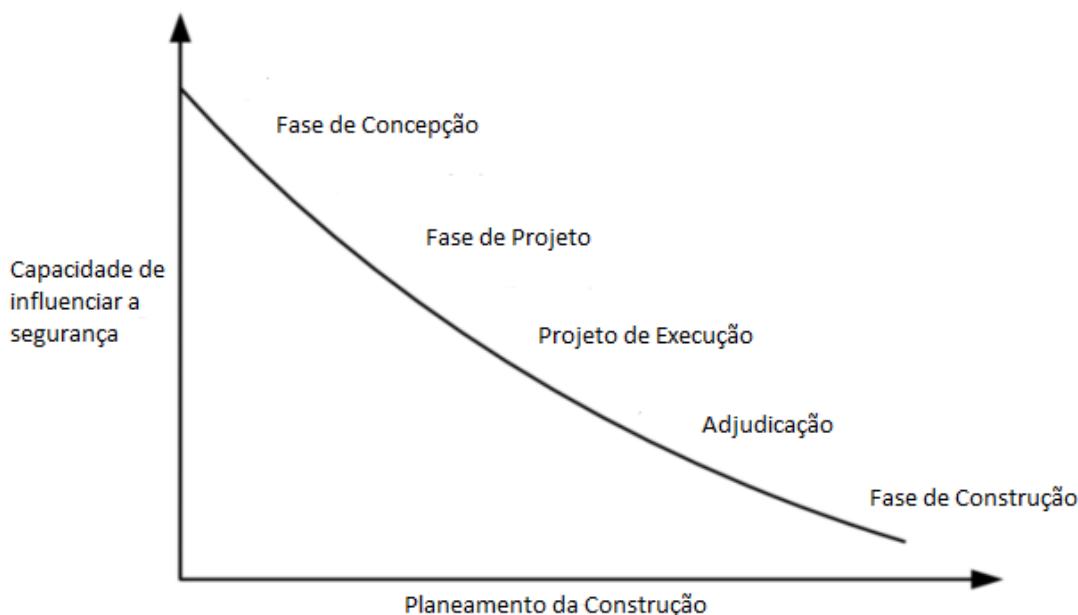


Figura 7 - Planeamento da Construção e a Capacidade de influenciar a segurança (adaptado de Behm, 2005)

Ao longo do tempo foram surgindo diversas ferramentas e métodos de avaliação de perigos com a finalidade de implementação da PtD. Uma das primeiras a surgir foi a *Design for Construction Safety Toolbox*, em 1997, para auxílio dos projetistas na eliminação ou redução dos riscos na fase de construção. Através de aproximadamente 400 práticas, foi construído um programa informático constituído por uma base de dados que fornece sugestões de alternativas para evitar os perigos encontrados (Cardoso, 2009).

3.2.4. Job Hazard Analysis

O Job Hazard Analysis, em português análise de perigos em atividades, como o próprio nome indica, é uma técnica que tem como finalidade a análise e identificação de perigos de uma determinada tarefa, de forma a preveni-lo antes que esta ocorra. Para tal, relaciona as tarefas não só com os perigos conhecidos

associados a esta, mas também com as ferramentas necessárias para a sua execução e o ambiente que a rodeia (Zhang et al, 2015). O procedimento básico para a realização de um JHA deve seguir os seguintes passos:

- Identificação para uma dada atividade de todos os trabalhos a executar;
- Identificação dos perigos relacionados com os diferentes trabalhos;
- Recomendação dos procedimentos a efetuar para eliminar, reduzir ou minimizar os perigos.

Para a identificação dos perigos e estabelecimento das respetivas recomendações de prevenção, é necessário um conhecimento prévio para a elaboração correta de um JHA. Associando tal situação à existência de atividades com características únicas e complexas, resulta um processo demorado e trabalhoso de manter, sendo difícil de reagir rapidamente a alterações de projeto e de planeamento durante a execução da obra (Zhang, 2014).

A Figura 8 mostra um exemplo de um JHA efetuado para a atividade *Strip Column*. Este tipo de ficha deve ser lido e explicado aos intervenientes antes da execução da atividade, de forma a garantir que estes tenham conhecimento dos perigos e das respetivas recomendações.

Project Title: <i>GT EBB</i>	Job Location: <i>Fifth Floor</i>	Analyst: <i>Safety Superintendent A</i>	Date: <i>Nov. 17, 2013</i>
Activity Name: <i>Strip column</i>			
Job Step: <i>Break formwork loose</i>			
Hazard Type: <i>Unexpected formwork release</i>			
Hazard Controls: <i>1. Barricade off the area to be stripped. Only authorized personnel and equipment are allowed in the stripping area</i> <i>2. Make sure there is proper lighting</i> <i>3. Have a coworker hold the form from falling</i> <i>4. Clear all concrete and loose material from formworks to prevent anything from falling overhead during stripping</i>			

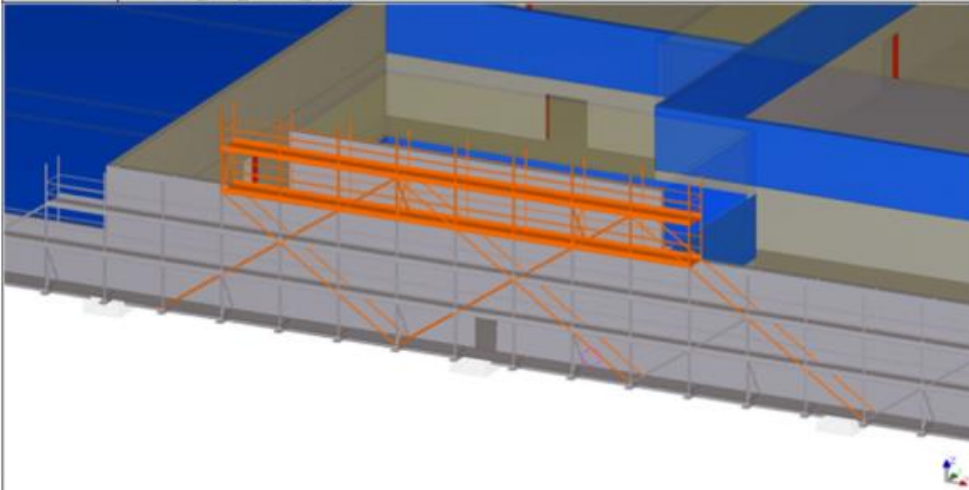
Figura 8 - Exemplo de um relatório de JHA (Zhang, 2014)

Chi, Lin, & Hsieh (2014) defendem que a aplicação do JHA deve ser feita de modo semiautomático, de forma a permitir ao projetista a extração de informação útil não só a partir de regulamentos já existentes, mas também de bases de dados e de relatórios de segurança, podendo estes consistir em texto, imagens ou mesmo vídeos, aplicando modificações que sejam eventualmente necessárias. Sugere o

desenvolvimento de uma ontologia de JHA baseada em “atividade”, “perigo” e “abordagem segura”, assim como na relação entre estes.

Esta automatização permite que uma análise de segurança seja realizada no menor tempo possível, auxiliando com fichas de fácil compreensão (ver Figura 9), sendo mesmo uma ferramenta facilmente utilizável por qualquer interveniente para melhorar as condições de segurança existentes (Zhang, 2014).

Job Hazard Analysis		
Project Name: Masonry project XYZ	Analyst: Safety Superintendent A	Date: 1/4/2014 2:30:59 PM
Review Time: 2/17/2014 8:00:41 AM		
Task Name: Masonry_Wall		
Activity: Dismantling_Scaffolding		
Job Step: Dismantle_Guardrails_Ledgers_Transoms_And_Standards_From_The_Level_Above		
Potential Hazard: Fall_To_Lower_Level		
Recommended Procedures:		
	1. Provide and use lifelines & harness with fall arrester	
	2. Implement buddy system among workers	
	3. Display warning signs	
	4. Cordon off affected work area	
	5. Implement effective communication system to stop work when there is bad weather	
Safety Resources:		
	Personal_Fall_Arrest_Equipment	



The image shows a 3D BIM model of a building under construction. The model is rendered in blue and grey. A section of the building is highlighted in orange, showing the scaffolding and safety equipment. The scaffolding is a complex structure of vertical and horizontal poles. The safety equipment includes lifelines and harnesses. The model is viewed from a perspective that shows the building's structure and the safety equipment in detail.

Figura 9 - Exemplo de um relatório de JHA gerado de forma automática (Zhang et al, 2015)

3.3. Rule-check

3.3.1. Enquadramento

O conceito de rule-check consiste na capacidade de efetuar verificações automáticas a um modelo, onde existem 4 resultados possíveis “Passou”, “Falhou”, “Aviso” e “Desconhecido”, no caso de existir informação em falta. Estas verificações

consistem na análise de parâmetros contidos no modelo, como por exemplo a sua geometria, fazendo uma análise e validação do modelo nos diversos aspetos do projeto, garantindo a existência de um modelo sólido e fidedigno (Ciribini et al, 2016).

Com a possibilidade de utilização de modelos tridimensionais na construção, surge a hipótese de se elaborar sistemas de *rule-check* de segurança no modelo BIM. A criação de tais ferramentas, menos propensas a erros, permitem de forma eficaz e automática a identificação de perigos, mas também de soluções para diminuir e corrigir esses mesmos perigos. Este tipo de ferramentas tem como objetivo avaliar o modelo em função dos seus objetos relativamente a um determinado referencial, nunca lhe introduzindo modificações automáticas (Sulankivi et al, 2013).

Como já referido, o SMC é o software mais comum para uma validação automática do modelo. Através de regras parametrizadas é possível verificar por exemplo se as divisões cumprem as dimensões regulamentares, como é mostrado na Figura 10 (Li, 2014).

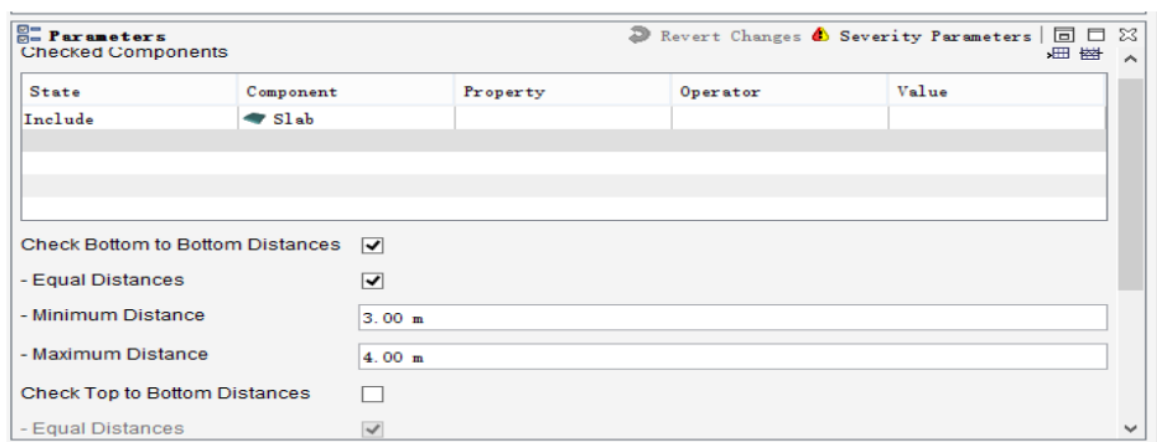


Figura 10 – Validação da altura mínima e máxima entre lajes

Este tipo de validações do modelo pode ser implementada através do uso de *software* ou *plugins*, onde arquitetos e engenheiros podem validar o modelo durante a fase de projeto, de forma a detetar logo numa fase inicial qualquer potencial problema que surja (Ciribini et al, 2016).

Salienta-se, no entanto, que apesar das capacidades de *rule-check* do *software* SMC, não é possível a sua aplicação para identificação de perigos relacionados

com a segurança ocupacional, dado que as regras existentes no *software* não estão preparadas para tal (Zhang et al, 2015).

3.3.2. Framework

De forma a poder abordar um sistema de *rule-check*, é necessário recolher e analisar informação como o planeamento da obra e a estrutura analítica do projeto (EAP ou Work Breakdown Structure-WBS) que permita melhorar a segurança das diferentes fases das atividades inerentes. Atualmente não existe um repositório de regulamentos e regras de segurança suscetíveis de aplicação em modelos BIM, baseando-se assim a sua existência em orientações da OSHA e guias de boas práticas (Zhang et al, 2011).

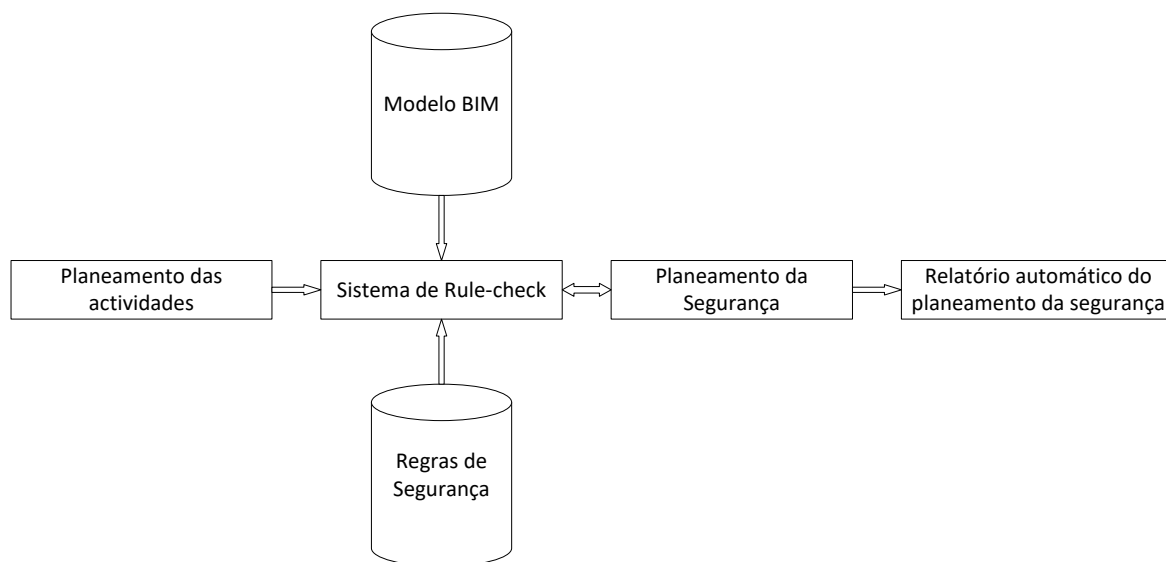


Figura 11 - Framework para implementação de um sistema automático de *rule-check*, adaptado de (Zhang et al, 2011)

Inicialmente procede-se à interpretação das regras de segurança, com o objetivo do *software* as reconhecer e associar às propriedades respetivas. Seguidamente existe a preparação do modelo, verificando se este contém todos os atributos e relações entre objetos, assim como o cronograma ordenado das atividades de construção, preparando-o para a utilização do *rule-check*, que, numa primeira fase, automaticamente analisa o modelo à procura de condições instáveis. Numa segunda fase existe a identificação e aplicação automática das medidas de

segurança, podendo ocorrer uma intervenção manual no modelo para complementar ou corrigir a aplicação das regras, de forma a obter as melhores medidas preventivas para cada situação. Estas podem ser posteriormente exportadas de forma visual para ver a aplicação do equipamento de proteção no modelo, mas também pode ser exportado para Excel um relatório com as situações inseguras e as respetivas medidas a serem aplicadas para correção das mesmas. Por fim, é possível exportar uma lista de quantidades dos equipamentos de segurança e adicionar essa informação ao cronograma do projeto (Eastman et al, 2009).

Tendo em conta que um local de obra é um lugar em constante mudança e com execução de diversas atividades em simultâneo, deve-se aplicar o *rule-check* (Figura 11) sempre que existirem alterações, de forma a que exista sempre um planeamento atualizado.

3.3.3. Desenvolvimento das regras

De forma a ser possível desenvolver um sistema de *rule-check*, é necessário identificar os riscos e interpretar a legislação em vigor, para se verificar a possibilidade de conversão dessas mesmas regras para um sistema computacional.

Tendo em conta o objetivo desta dissertação foi analisada a Portaria nº 101/96, de 3 de Abril, o Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, o Decreto-Lei nº 41821/58, de 11 de Agosto, assim como a OSHA 1926-501, de forma a obter as regras a aplicar na realização de trabalhos em altura, aberturas e escavações.

A Portaria nº 101/96, de 3 de Abril, no artigo 10 e 11 estabelece os procedimentos a efetuar em situações de queda de objetos e quedas em altura. Trata-se, no entanto, de um documento pouco objetivo que deve ser utilizado antes como um guia de boas práticas em construção, não sendo possível recolher informação necessária para o desenvolvimento de regras de verificação, conforme se pode verificar pela transcrição apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Artigos 10 e 11 da Portaria nº 101/96, de 3 de Abril

“10º
Queda de objectos
1—Os trabalhadores devem dispor de protecção colectiva contra a queda de objectos ou, se isso não for tecnicamente possível, ter o acesso interdito às zonas perigosas.
2—Os materiais e os equipamentos devem ser dispostos ou empilhados de forma a evitar a sua queda.”
“11º
Quedas em altura
1—Sempre que haja risco de quedas em altura, devem ser tomadas medidas de protecção colectiva adequadas e eficazes ou, na impossibilidade destas, de protecção individual, de acordo com a legislação aplicável, nomeadamente o Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil.
2—Quando, por razões técnicas, as medidas de protecção colectiva forem inviáveis ou ineficazes, devem ser adoptadas medidas complementares de protecção individual, de acordo com a legislação aplicável.”

Da mesma forma, o Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro não contém informação objetiva relativamente a dimensões exatas a ter em conta, indicando, a título de exemplo no artigo 7º, a necessidade de “(...) *prever medidas adequadas (...) que exponham os trabalhadores a risco de soterramento, de afundamento ou de queda em altura, (...)*”. Este realça, no entanto, que, de forma a garantir a segurança dos intervenientes em obra, deve-se ter em conta os princípios gerais de prevenção, sendo o dono de obra responsável pela preparação do PSS, assim como pela sua reformulação durante o progresso do projeto, dado a obrigatoriedade da existência do mesmo. Indica também que, em caso de trabalhos em que não seja obrigatório o PSS, “(...) *a entidade executante deve elaborar fichas de procedimentos de segurança para os trabalhos que comportem tais riscos e assegurar que os trabalhadores intervenientes na obra tenham conhecimento das mesmas (...)*”.

No Decreto-Lei nº 41821/58, de 11 de Agosto, Capítulo II destinado a aberturas em paredes, é indicado que, na existência de aberturas em paredes que estejam a menos de 1 m acima do soalho, esta terá de ser protegida por guarda-corpos, com secção transversal de 0.30m e com uma altura mínima de 0.10 m acima do

pavimento, e só podem ser retirados aquando o fecho definitivo da abertura. Salienta também no Artigo 63º, já relativamente a aberturas de pavimentos, que estas devem ser tapadas para proteção dos trabalhadores presentes nos níveis inferiores.

Devido ao facto de a legislação portuguesa considerar obrigatório a utilização de diversos equipamentos coletivos e individuais, mas ser subjetiva relativamente às suas características e dimensões, procedeu-se também à análise da OSHA 1926.501. Esta considera que uma abertura tem de ter uma extensão mínima superior a 5 cm no lado com menores dimensões em qualquer superfície trabalhável ou passível em se caminhar sobre, para que se tenham que considerar medidas de prevenção relativamente aos riscos que possam causar. Indica também que, quer a proteção destas aberturas, quer a proteção de situações de risco de queda em limites de laje devem ser tidas em conta para alturas superiores a 1.80 m, relativamente ao nível inferior, aplicando-se guarda-corpos, tampas ou sistemas de proteção individual como o arnês, dependendo da situação.

De uma forma resumida, a OSHA 1926.501 considera as medidas de prevenção relativamente à extensão da abertura, que se indicam na Tabela 6.

Tabela 6 - Medidas de prevenção a aplicar de acordo com a extensão da abertura, adaptado de (OSHA, 2007)

Extensão da abertura no lado de menor comprimento	Medida de prevenção
< 5 cm	Não considerar
5 cm < x < 1m	Colocação de tampas para aberturas
> 1 m	Aplicação de um sistema de guarda-corpos

3.3.4. Aplicação das regras

No caso de risco de queda em altura através da existência de aberturas em laje, existem dois métodos distintos que permitem a deteção dessas mesmas aberturas no modelo BIM, a deteção pelo tipo de geometria, ou a deteção pelo tipo de objeto. Através da geometria é possível encontrar os polígonos internos das lajes e obter assim eventuais aberturas presentes nesta. No entanto, em ocasiões de

modelagem mais complexas na representação da geometria da laje, podem surgir falsos positivos, situações em que na realidade não existe perigo associado (Zhang et al, 2015).

A Figura 12, através de um fluxograma, esquematiza o procedimento a adotar de um sistema de *rule-check* específico para aberturas em laje ou telhado para aplicação das medidas necessárias respetivas.

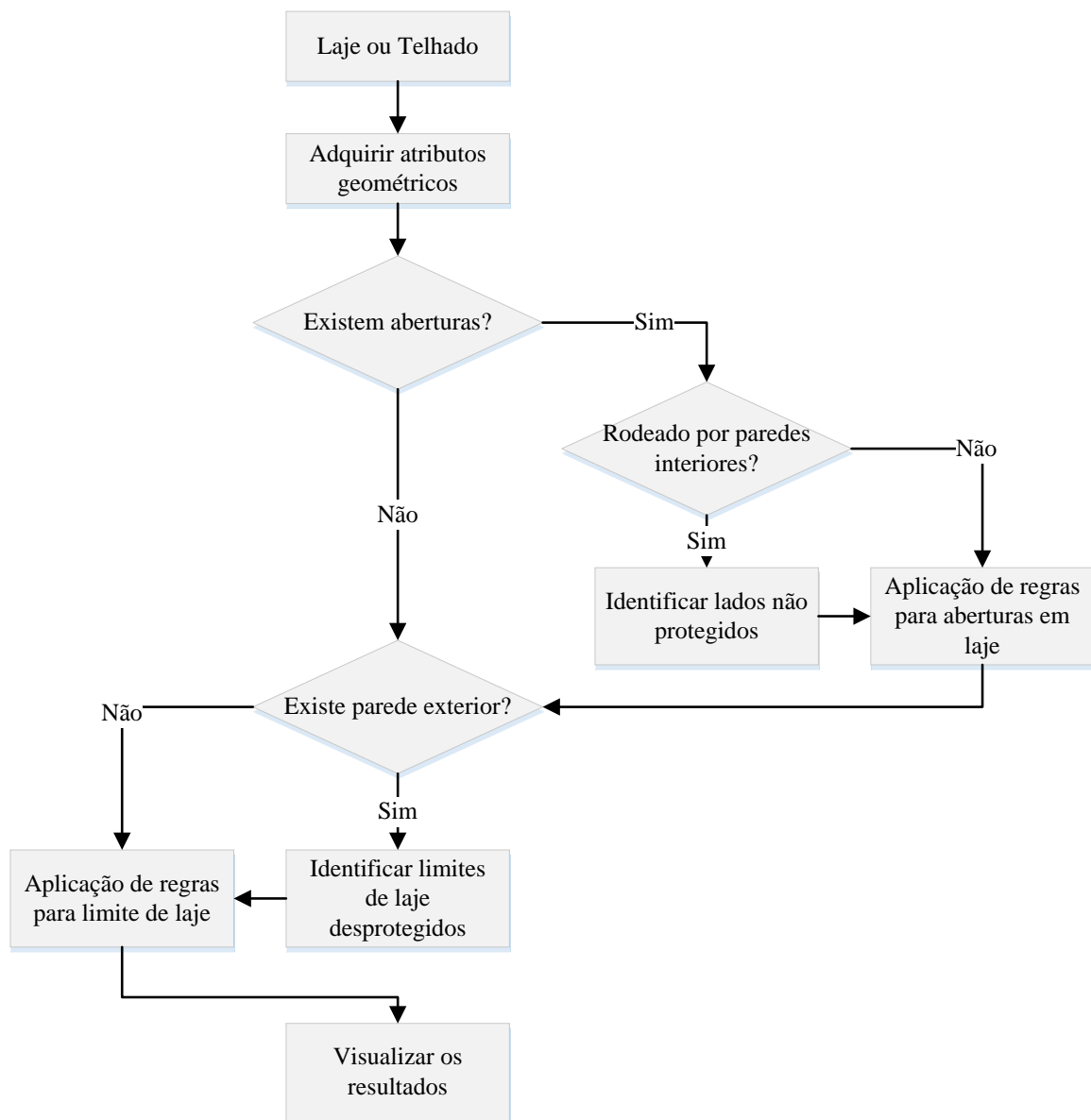


Figura 12 - Fluxograma de aplicação de um sistema de *rule-check* para proteção de quedas, adaptado de (Zhang et al, 2013)

Para além das aberturas em laje, existe também aberturas na parede que podem representar risco de queda em altura. Similarmente às aberturas na laje, é possível obter eventuais aberturas que surjam numa parede (Figura 13), se as mesmas estiverem representadas como objeto, sejam aberturas para posterior colocação de elementos como portas ou janelas quer em paredes interiores, quer em paredes exteriores. (Zhang et al, 2015).

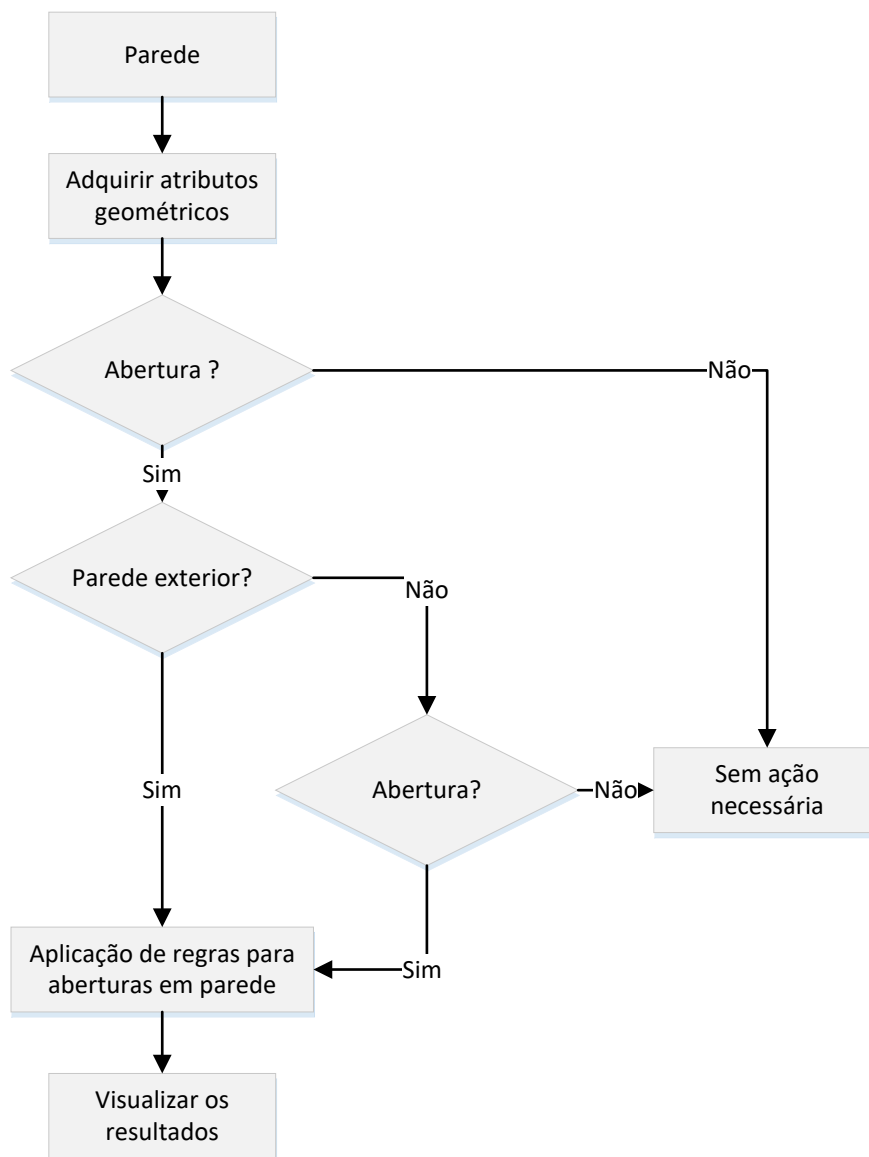


Figura 13 - Fluxograma de aplicação de um sistema de *rule-check* para aberturas em parede, adaptado de (Zhang et al, 2013)

No desenvolvimento do trabalho verificou-se que em ambas as situações o *Revit* verifica a existência do risco pela geometria dos objetos (listando-os na totalidade independentemente da sua localização), relativamente aos quais as medidas de prevenção devem variar dependendo do local de abertura (laje ou parede).

3.3.5. Modelação

A integração do BIM na construção permite, como já referido, a representação digital dos diversos componentes de um edifício. Para tal, é necessário a sua modelação, sendo possível também, no entanto adicionar novos elementos a usar posteriormente no modelo. Como tal, na área da segurança, surgem duas possibilidades de modelação e aplicação desses elementos, manual e automática (Eastman et al, 2011).

A modelação manual pode proporcionar uma solução de segurança mais detalhada e com um nível de detalhe mais rigoroso, necessitando, no entanto, de mais tempo para a realizar, dado que tem de ser feita pelo projetista. Já a modelação automática permite gerar resultados mais rápidos, principalmente quando surgem mudanças no planeamento da obra, por se processar de forma automática e sem necessitar de intervenção manual. É, no entanto, menos detalhado, podendo não ter em conta certos pormenores nem boas práticas a aplicar, dado que, devido à sua automatização, os conhecimentos necessários de segurança são menores (Zhang et al, 2015).

Na Tabela 7 é apresentada a comparação existente entre os dois tipos de modelação, sendo demonstrado na Figura 14 a aplicação dos mesmos.

Tabela 7 - Comparação entre a modelação manual e automática, adaptado de (Zhang et al, 2015)

Requisitos	Modelação Manual	Modelação Automática
Tempo necessário	Elevado	Reduzido
Conhecimentos de segurança necessários	Muito elevado	Pouco
Facilidade de atualização	Difícil	Fácil
Nível de detalhe	Elevado	Baixo

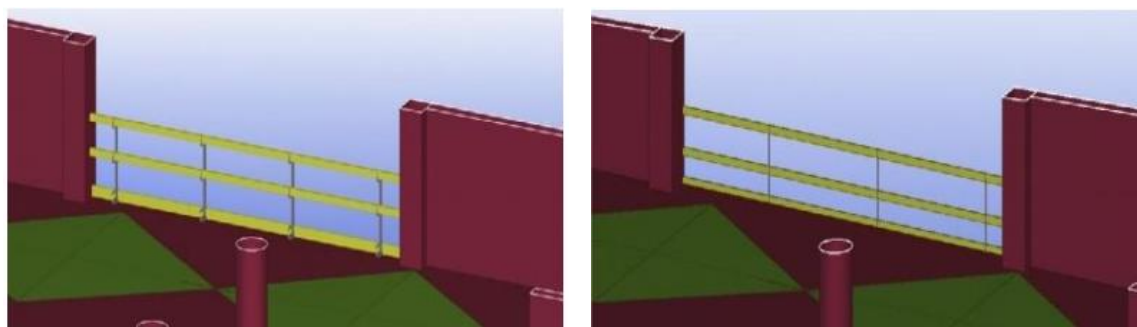


Figura 14 - Modelação manual comparativamente à automática (Zhang et al, 2015)

Após a aplicação do sistema de rule-check, o projetista pode optar pela escolha de um dos dois métodos de modelação. Apesar de automático, este método pode eventualmente necessitar de bastante tempo para a sua aplicação, caso necessite de intervenção externa. Isto porque este método depende bastante da informação contida no modelo, como por exemplo a sua geometria. Na existência de incoerências no modelo, o rule-check irá apresentar resultados incorretos, deixando de ser vantajosa a sua aplicação (Zhang et al, 2015).

3.4.API's

A utilização de uma API, em Português, Interface de Programação de Aplicações, permite o desenvolvimento de software para adição de novas funcionalidades através de ferramentas externas. O seu principal benefício é o facto de ser possível compilar o código para implementação da API em qualquer sistema operativo, sem ser necessário recorrer a alterações do mesmo (Oti et al, 2016).

Além da procura de *softwares* de BIM, foi feita uma análise para identificar quais desses mesmo disponibilizam API's. Entre os softwares BIM analisados, verificou-se que o Tekla Structures e o Revit possuem *open* API's. O Tekla disponibiliza uma API capaz de integrar e comunicar com o Tekla Structures, permitindo a adição de novas funcionalidades, assim como a interação com o modelo e respetivos objetos. Possibilita, por exemplo a automatização de rotinas como a criação de diversos tipos de relatórios ou de ferramentas frequentemente usadas. Além da API, é fornecida a documentação e manual de referências, assim como diverso material de aprendizagem.

A plataforma API fornecida pela Autodesk é das mais utilizadas, derivado de ser fornecida de forma aberta para programadores, e sem restrições a nível académico.

A API do Revit permite o desenvolvimento de programas e scripts para estender as capacidades do Revit, sendo acessível por linguagens compatíveis com o *framework* Microsoft .NET, como Visual C# ou Visual Basic .NET que permitem a implementação de comandos e aplicações externas à plataforma Revit. Para tal são disponibilizadas duas bibliotecas de classes, a RevitAPI.dll e a RevitAPIUI.dll. A primeira é responsável pelo acesso ao Revit, documentação, elementos do modelo e respetivos parâmetros, enquanto que a segunda está relacionada com a interface do utilizador, com a sua manipulação e personalização (Oti et al, 2016).

É indicado no Revit API *Developer Guide* que a sua API tem a capacidade de:

- Obter acesso relativamente ao grafismo do modelo;
- Obter acesso à informação paramétrica do modelo;
- Criar, editar e apagar elementos do modelo como pisos, paredes, pilares entre outros;
- Criar add-ins para automatização de tarefas repetitivas;
- Integrar aplicações com o Revit, como a ligação a uma base de dados externa ou envio de informação do modelo para análise;
- Realizar diferentes tipos de análise;
- Criação automática de documentação do projeto.

O seu SDK contém, tal como o Tekla não só as API's possíveis de usar, como a documentação necessária para auxílio do programador.

Dado que o modelo desenvolvido no âmbito deste trabalho utilizou o software Autodesk Revit 2016, ir-se-á utilizar a API respetiva.

Capítulo 4

Caso de estudo

Capítulo 4 – Caso de estudo

4.1 – Considerações Iniciais

4.1.1 – Programação Orientada a Objetos

4.2 – Desenvolvimento do plugin

4.2.1 – Ribbon

4.2.2 – Aberturas

4.2.3 – Job Hazard Analysis

4.2.4 – Importação de elementos

4.3 – Aplicação do plugin no modelo

4.4 – Nota final

4. Caso de estudo

4.1. Considerações Iniciais

O principal objetivo do *plugin* desenvolvido incide sobre a deteção automática de perigos de queda em altura, a geração do JHA e a importação de elementos, dividindo-se assim em 3 ferramentas diferentes, e por último, a criação de uma base de dados com informação dos perigos e procedimentos recomendados para cada atividade de construção de um elemento.

A primeira fase de desenvolvimento consistiu no estudo dos processos de desenvolvimento para o *software* Revit através da leitura do *Revit API Developer Guide* e da descarga do SDK, tendo culminado na escolha de C# (lê-se C Sharp) como linguagem de programação, dado que ambos abordam principalmente esta linguagem.

Para a programação, foi usado o IDE Visual Studio 2015 da Microsoft que suporta a plataforma *framework* .NET, e a integração do API do Revit.

4.1.1. Linguagem de Programação

Antes de surgir a Programação Orientada a Objetos (POO), o que existia era a programação procedural, onde os procedimentos e sub-rotinas eram estabelecidos sem qualquer ligação entre si, sendo um método complexo e difícil de estruturar. O aparecimento da POO anula a separação de código, possibilitando a sua junção em situações com funcionalidades comuns e simplificando projetos. Com este conceito, um programa passa a ser considerado como um conjunto de instruções e objetos que interagem entre si (Jackson, 2011).

O C# é uma linguagem de programação orientada a objetos, que permite, como já referido, a automatização de procedimentos, traduzindo-se no aumento da produtividade em projeto. Para esta linguagem de programação, existem diversas ferramentas de desenvolvimento da Microsoft preparadas para a plataforma *framework* .NET. A *framework* abrange desde bibliotecas de código, a linguagens de script e outros *softwares* para auxílio no desenvolvimento. A .NET é uma iniciativa que tem como fim o desenvolvimento a partir de uma plataforma única,

isto é, pode ser executado em qualquer dispositivo que contenha este framework (Lima, 2011).

4.2. Desenvolvimento do plugin

Este capítulo pretende apresentar o *plugin* desenvolvido, cujo objetivo é auxiliar projetistas na deteção e identificação de perigos durante a criação de um modelo BIM executado no *software* Autodesk Revit, colocando em prática os conceitos já abordados nesta dissertação, com especial foco para o *rule-check*, perigos potenciais causadores de queda e o JHA. Apesar do objetivo principal da ferramenta ser o facto de esta poder ser utilizada em qualquer modelo BIM, a sua validação, durante a sua criação, foi realizada no modelo (Figura 15) desenvolvido relativamente à fase estrutural do edifício da Unidade de Radioterapia, situada na freguesia de São Martinho, concelho do Funchal, na Ilha da Madeira. No entanto, de forma a verificar a capacidade do *plugin* na distinção entre os diferentes tipos de aberturas, foram ainda adicionadas três novas aberturas, duas em parede e uma *shaft* (Figura 15).

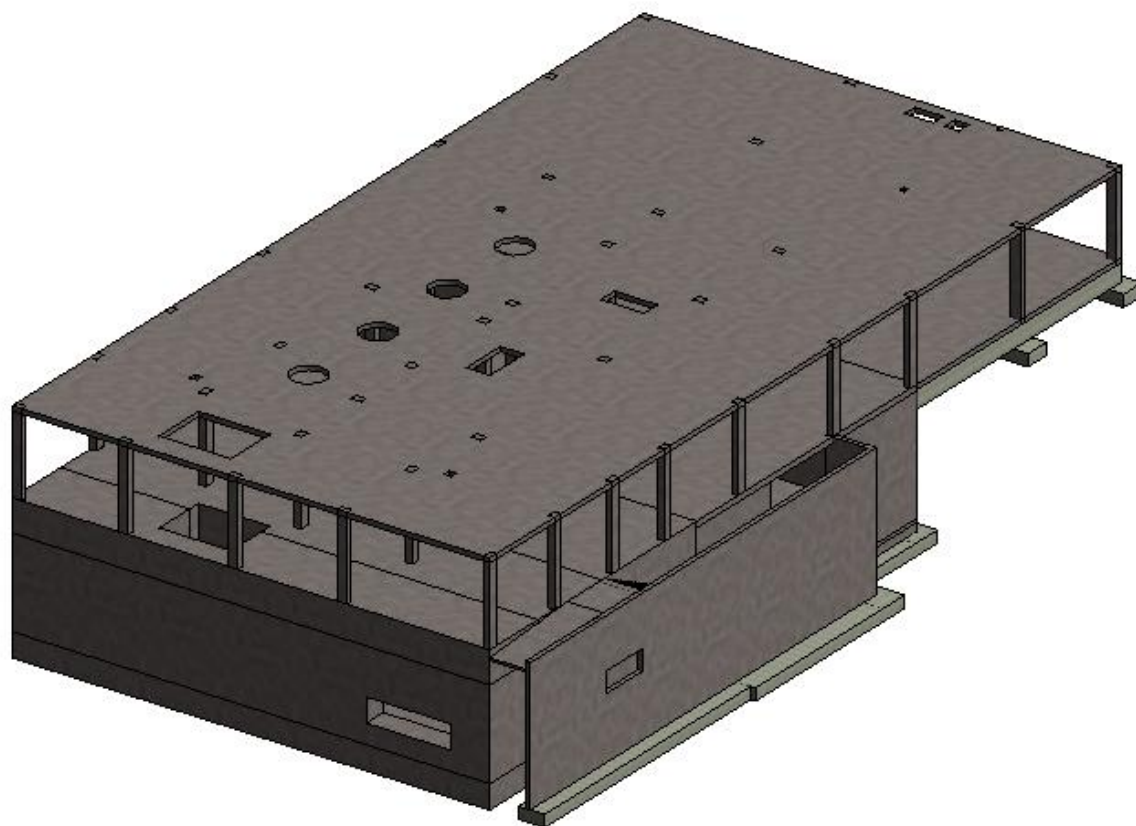


Figura 15 - Modelo utilizado

4.2.1. Ribbon

A primeira fase de desenvolvimento consistiu na criação do *Ribbon*, painel com 3 botões que permite utilizar cada uma das ferramentas, de forma a ser possível acede-las diretamente a partir do separador de *Add-Ins* do Revit (Figura 16).

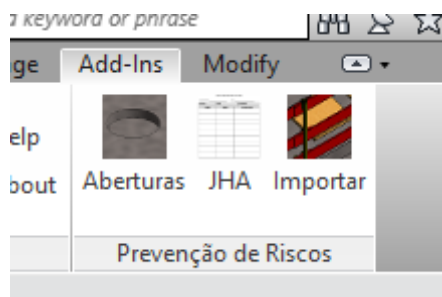


Figura 16 - Painel de acesso às ferramentas

Cada ferramenta foi desenvolvida com um objetivo específico, apresentado na Tabela 8, sendo este objetivo apresentado no respetivo *tooltip*.

Tabela 8 - Descrição das ferramentas

Ferramenta	Descrição
Aberturas	Permite obter todas as aberturas no modelo que possam representar perigo para o trabalhador
JHA	Análise de elementos do modelo do ponto de vista da segurança, assim como a possível exportação de uma ficha de segurança relacionada com o mesmo
Importar	Permite importar diversos elementos para aplicar na prevenção de riscos

4.2.2. Aberturas

A primeira ferramenta criada, Aberturas, foi programada com o objetivo de deteção de aberturas que possam ser consideradas como perigos de queda, quer ao mesmo nível, quer em altura. Como já referido nesta dissertação, existem duas formas de obtenção das aberturas, pela sua geometria ou pelo tipo de objeto, tendo

sido optado a deteção pelo seu tipo, pela aplicação de um filtro que as procura no modelo.

A deteção de aberturas no modelo acontece automaticamente quando se pressiona o botão “Aberturas” no *Ribbon*, sendo simultaneamente apresentada a janela que se mostra na Figura 17:

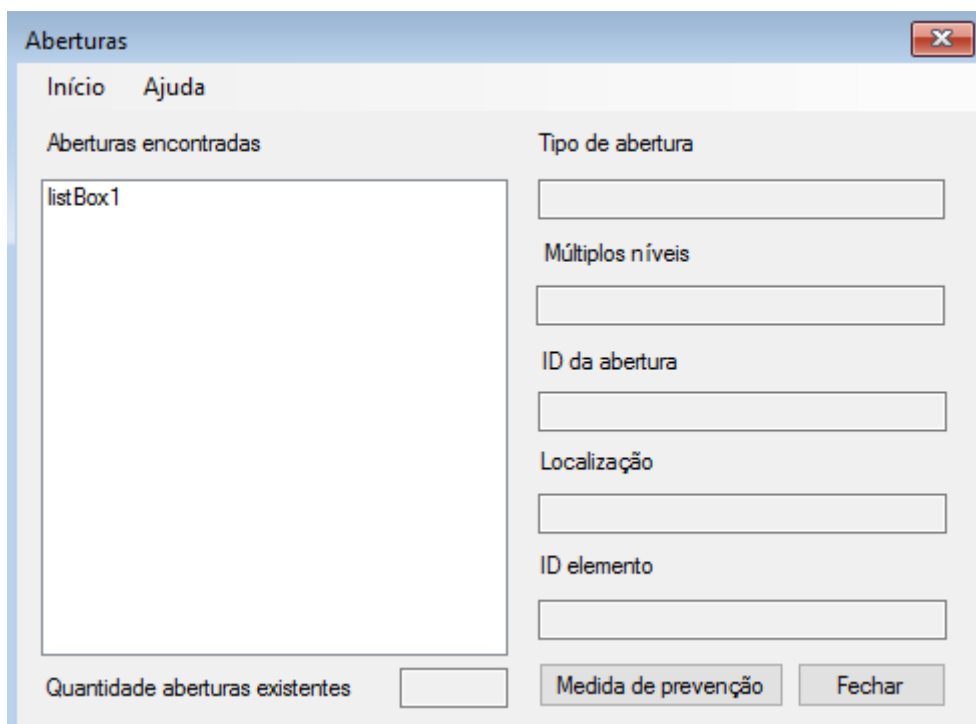


Figura 17 - Janela padrão das aberturas

A listagem de aberturas será apresentada na *listbox1*. De forma a auxiliar o projetista, são apresentadas também 5 caixas de texto diferentes, Tipo de abertura, Múltiplos níveis, ID da abertura, Localização e ID do elemento, que pretende representar a informação relativamente à abertura selecionada, estando demonstrado na Tabela 9 com mais detalhe o que é apresentado em cada parâmetro, sendo também essa informação apresentada no *tooltip* durante a utilização do *plugin*.

Tabela 9 - Informação apresentada nos tooltips

Parâmetro	Descrição
Tipo de Abertura	Indica o tipo de geometria do elemento.
Múltiplos níveis	Indica se a abertura afeta somente um piso, ou vários.
ID da abertura	ID de identificação atribuído pelo Revit à abertura.
Localização	Indica o tipo de elemento no qual a abertura está contida.
ID do elemento	ID de identificação atribuído pelo Revit ao elemento onde a abertura está contida.

Pelo facto da versão do Revit instalada se encontrar na versão Inglesa, o nome das aberturas, tipo, e respetiva localização encontram-se em inglês, não sendo influenciadas pela linguagem do *plugin*. No caso da caixa Múltiplos níveis, o resultado apresentado será *True* ou *False*, dependendo de se a abertura apenas afetar um elemento, ou se tiver sido criada pela ferramenta *Shaft* existente no Revit, ferramenta essa que afeta diversas lajes existentes.

Tendo em conta as propriedades do Revit relativamente às aberturas (ver anexo B), não foi possível definir as medidas de prevenção relativamente às dimensões da abertura selecionada, existindo apenas a distinção das medidas de prevenção entre a abertura se encontrar localizada na laje ou em parede. Assim, optou-se, ao clicar no botão “Medida de Prevenção” pela apresentação da sugestão da medida a implementar através da seleção das dimensões de forma manual, para a situação em que se encontra selecionada uma abertura de laje. No caso de estar selecionado uma abertura em parede, será indicada a sugestão de prevenção sem intervenção manual, como é possível verificar na Figura 18.

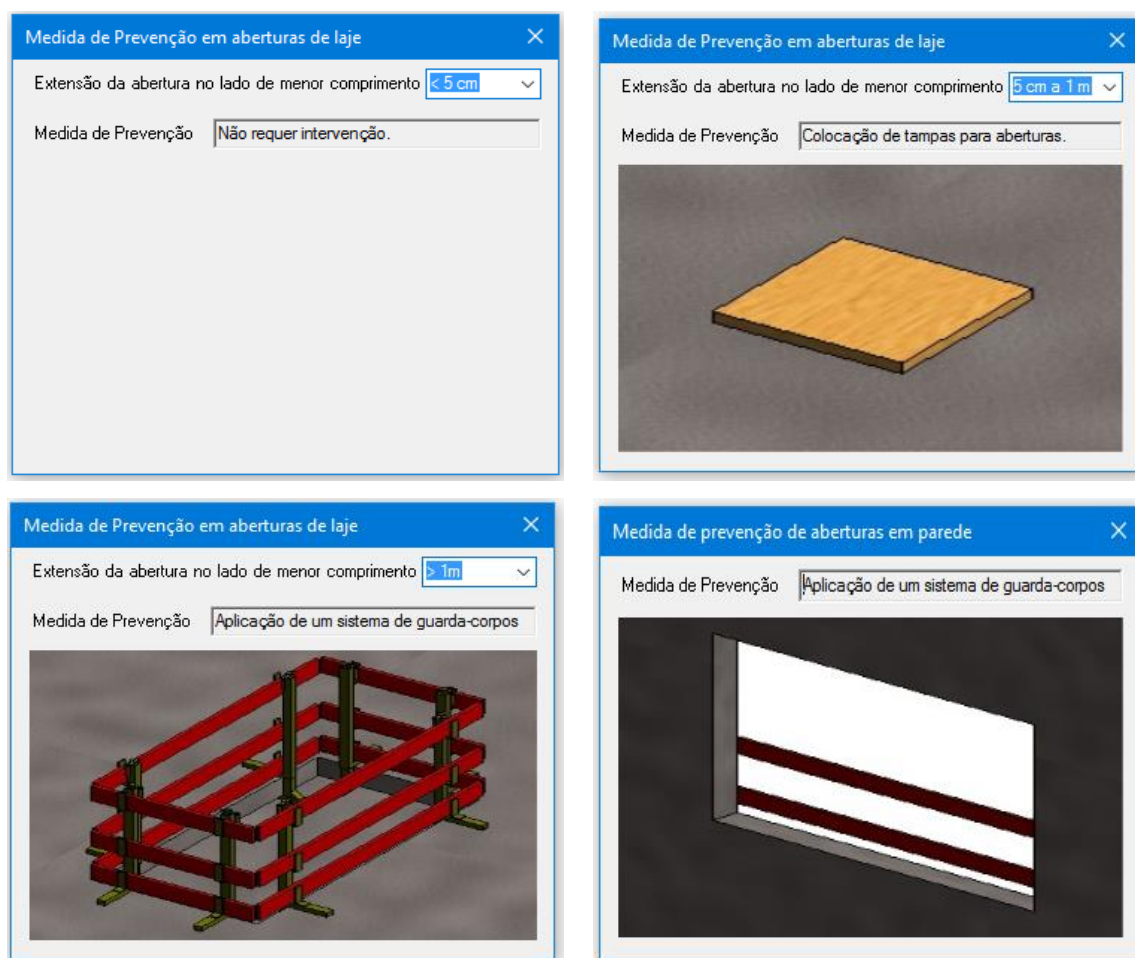


Figura 18 - Medidas de prevenção relativamente ao tipo de abertura

4.2.3. Job Hazard Analysis

A segunda ferramenta foi idealizada com base na construção de uma base de dados facilmente acessível, contendo a listagem dos perigos e procedimentos recomendados para diversas atividades. Esta encontra-se dividida atualmente em 5 tabelas distintas, Atividades, Descrição, Elementos, Perigos e Perigos Comuns, podendo a sua dimensão variar de 2 a 11 colunas. Devido à extensão da mesma, a título de exemplo, é apresentada a Figura 19 relativamente aos perigos existentes para duas atividades distintas.

Id	Cofragem	Betonagem
1	Incorrecto ou inexistente dimensionamento	Transporte e manuseamento de cargas suspensas
2	Escoramento insuficiente	Esforço físico elevado aquando a descarga do betão
3	Objetos ou equipamentos em movimento	Exposição a condições climatéricas adversas
4	Queda em altura	Exposição a produtos químicos

Figura 19 - Exemplo da base de dados

Para a criação desta base de dados foram usadas diversas referências na área da segurança, tais como:

- Autoridade para as Condições do Trabalho;
- Segurança nos Trabalhos de Betonagem em Estaleiro, de Paulo Palhinha;
- Fatores que condicionam o desempenho da segurança na construção: modelo, de Andreia Coutinho;
- Avaliação de riscos: Aplicação a um processo de construção, de Francisco Carneiro;

De forma a aceder a esta base de dados, foi criada uma interface acedida pelo botão “JHA”, que irá apresentar as medidas de segurança para o tipo de elemento selecionado, automatizando e aumentando assim a rapidez com a qual se pode aceder à informação.

Inicialmente deve ser feita a seleção do elemento pretendido, clicando posteriormente no botão JHA do *Ribbon*, sendo apresentada a janela apresentada na Figura 20.

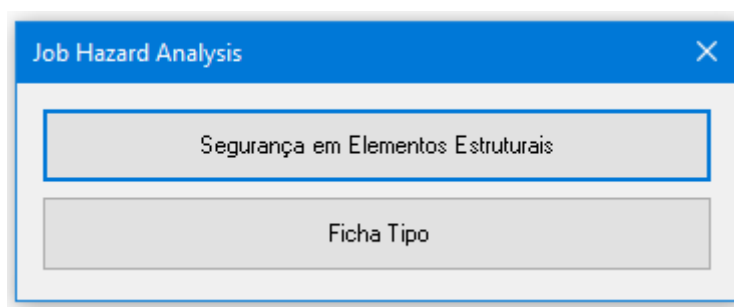


Figura 20 – Opções disponíveis de JHA

Dependendo do tipo de elemento selecionado, existe a possibilidade de seleção do tipo de procedimentos de segurança pretendidos, focado nos elementos

construtivos ou em Fichas tipo. A primeira situação é a mais indicada para elementos como pilares, lajes, paredes, escadas ou fundações, com indicação dos perigos e respetivas medidas de segurança. Já a segunda tem como finalidade a indicação de informação para elaboração de uma lista de verificação a ter em conta durante a realização de uma atividade. Pressionando o primeiro botão, “Segurança em Elementos Estruturais”, será apresentada assim a janela indicada na Figura 21:

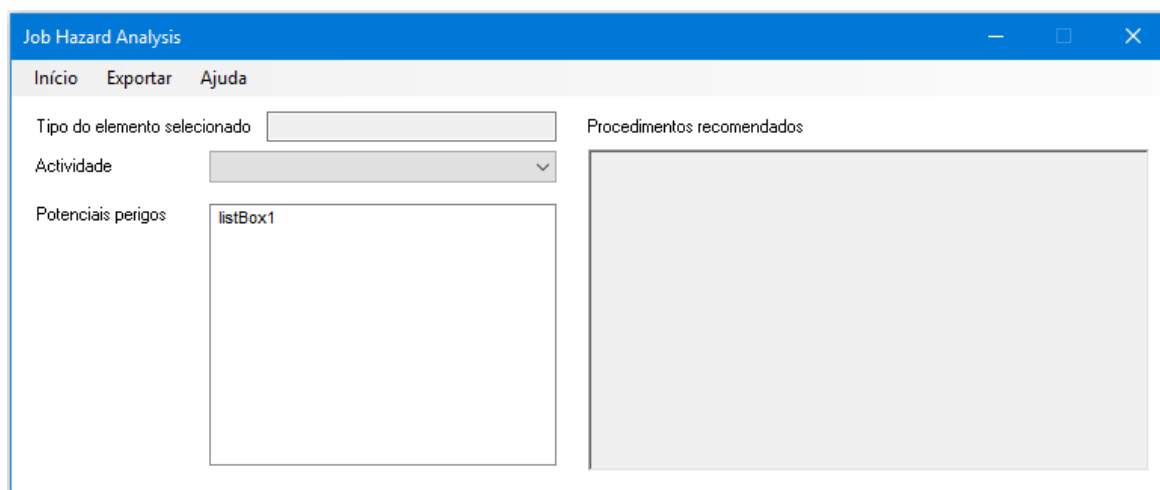


Figura 21 – Job Hazard Analysis

Nesta janela é apresentado o tipo de elemento selecionado, assim como o piso em que ele se encontra. Do ponto de vista do utilizador é possível selecionar a atividade pretendida, relativamente ao tipo de elemento previamente selecionado, sendo mostrado na *listbox1* os Potenciais Perigos relativos a essa atividade. Por fim, com a seleção de um desses perigos, será apresentado do lado direito, os respetivos procedimentos recomendados.

No menu superior estão presentes três opções, Início, Exportar e Ajuda. A partir de Início existe a opção para fechar a ferramenta. Em Exportar encontra-se o Ficheiro PDF, possibilitando, como o próprio nome indica, a exportação em formato PDF da informação visível. Como exemplo, o anexo C contém uma das fichas de seguranças possíveis de exportar do *plugin* desenvolvido.

Por fim, em Ajuda está presente o Sobre, que abre a janela apresentada na Figura 22, indicativa da informação do *plugin* criado.

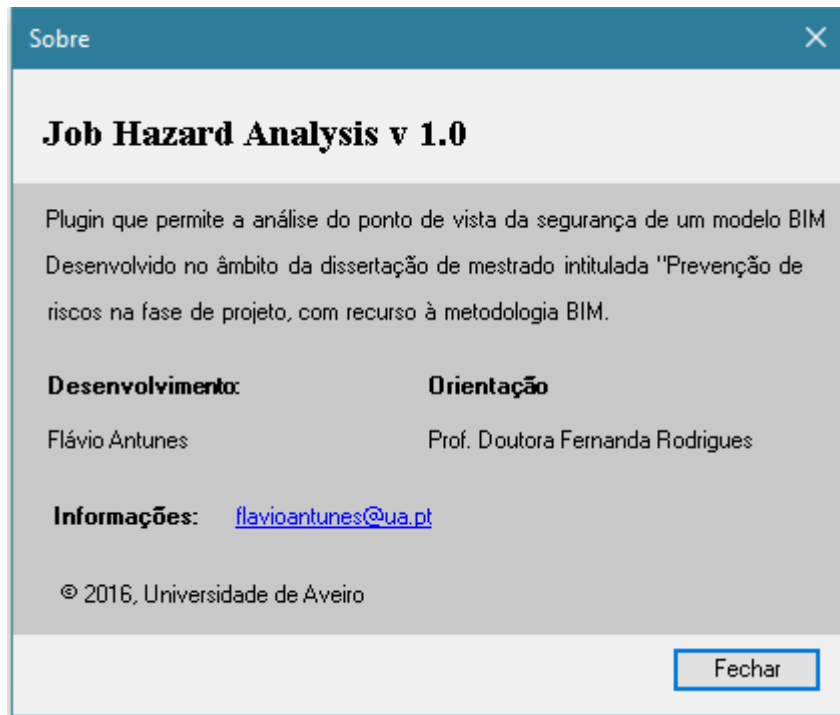


Figura 22 - Janela Sobre

Já o clique em “Ficha tipo” irá apresentar uma janela diferente (Figura 23), onde o principal fator apresentado é “Perigos Específicos”, em que, consoante o elemento selecionado previamente, é possível selecionar o Perigo pretendido, sendo apresentado depois as recomendações para o mesmo. Dependendo do elemento selecionado, podem ser também apresentados os “Perigos Comuns” (Figura 24). Salienta-se que o preenchimento da base de dados foi feita considerando Fichas de Segurança existentes e disponibilizadas pela ACT.

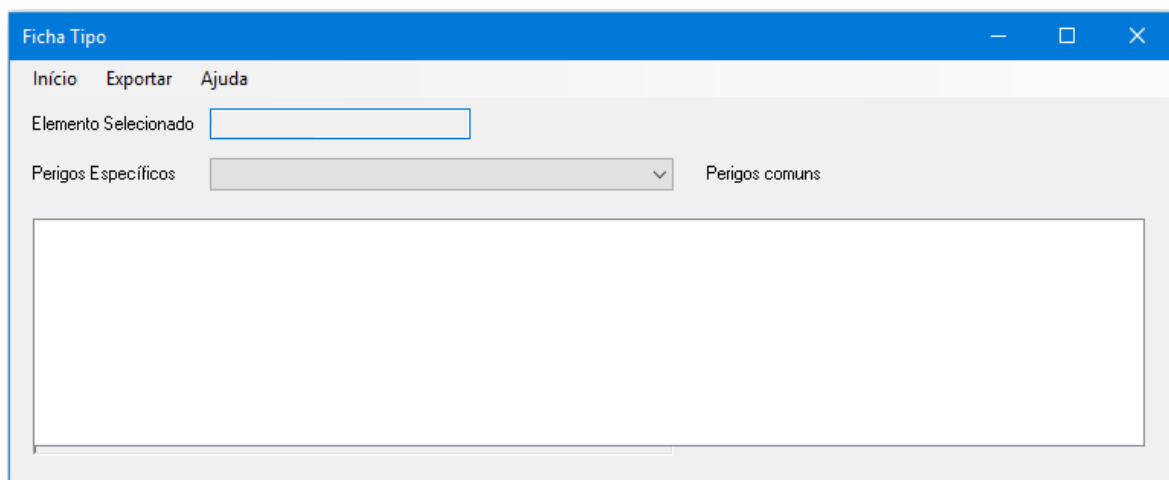


Figura 23 - Janela da Ficha Tipo

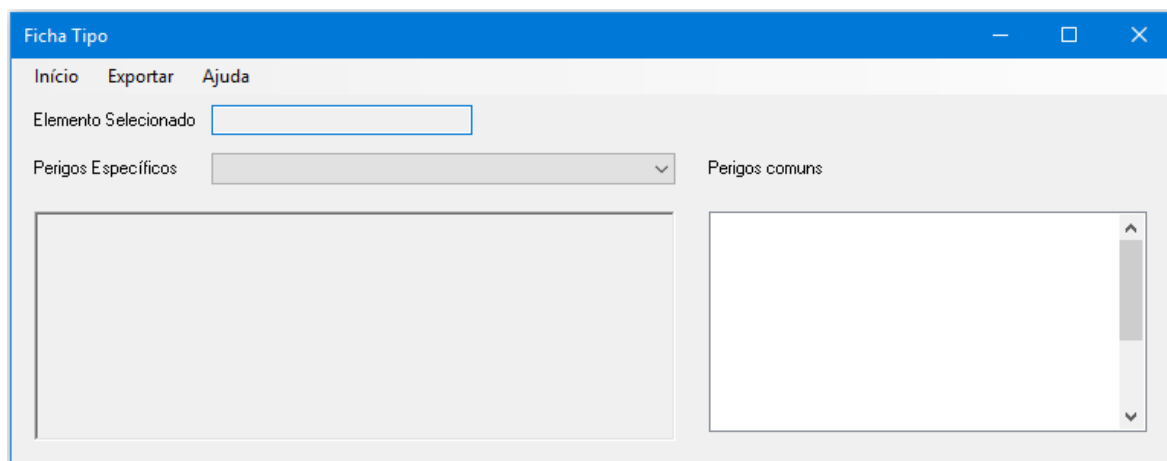


Figura 24 - Janela da Ficha tipo com Perigos comuns

4.2.4. Importação de elementos

Este botão não apresenta qualquer tipo de janela. O seu objetivo é demonstrar a possibilidade de importar objetos com formato .rfa, formato característico de uma família do Revit, para qualquer modelo BIM. Assim, através de objetos de famílias já existentes, modelados por Estrada (2015), foi possível importar para o modelo em estudo diversos objetos de proteção, como tampas para proteção de aberturas, e guarda-corpos de forma automática. Conforme é apresentado na Figura 25, ao clicar no botão “Importar”, estes objetos passam a estar disponíveis no *Project Browser*, na categoria de *Generic Models*, possibilitando a sua aplicação imediata.

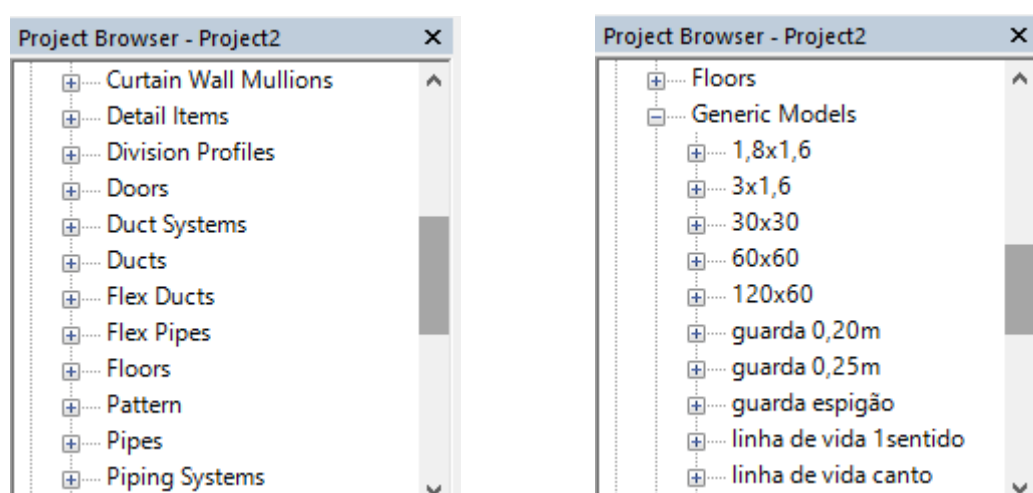


Figura 25 - Antes e depois de clicar em "Importar"

4.3. Aplicação do plugin no modelo

De forma a validar o *plugin*, foram executadas as 3 ferramentas no modelo BIM já referido.

A primeira, Aberturas, indicou os resultados presentes na Figura 26.

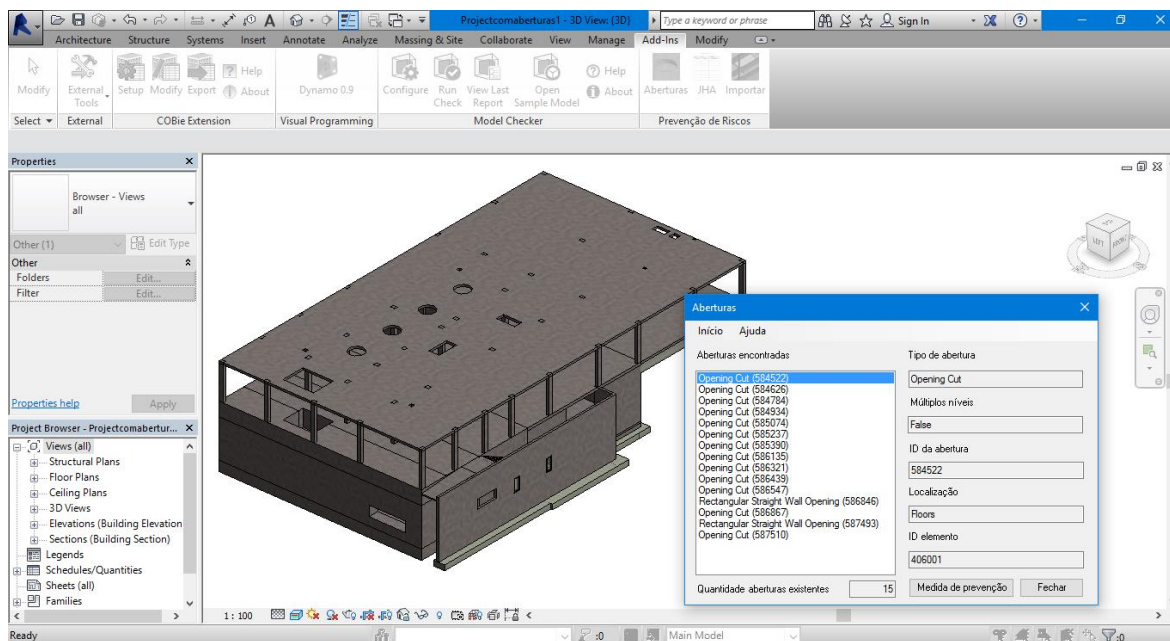


Figura 26 - Resultado da análise das aberturas

Como é possível verificar, foram encontradas no total, quinze aberturas no modelo BIM, das quais treze se referem a aberturas na laje (*Opening Cut*), e as duas restantes a aberturas em parede (*Rectangular Straight Wall Opening*). Como se encontra selecionado uma abertura de laje, é possível verificar que a localização desta é em *Floors*. No caso de se selecionar uma das duas aberturas em parede, como demonstra a Figura 27, a sua localização já será *Walls*.

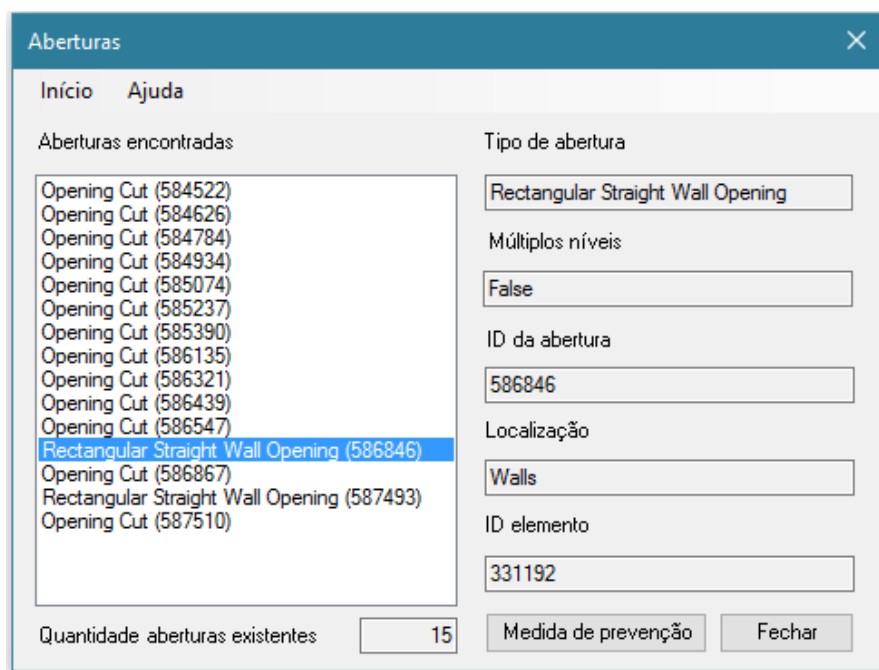


Figura 27 - Parâmetros de uma abertura em parede

Como foi indicado, uma das aberturas adicionadas para verificar o *plugin* foi criada com a ferramenta shaft, afetando diversos níveis. Nesta situação, essa abertura é a última da lista, e como é possível ver pela Figura 28, “Múltiplos níveis” passou a indicar *True*, deixa de ter uma Localização definida, assim como o ID respetivo.

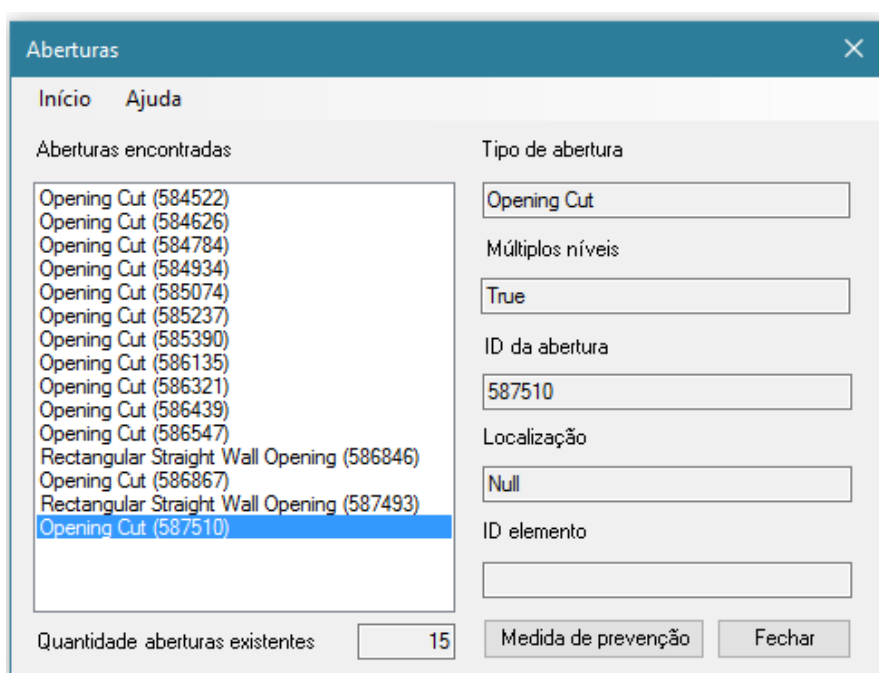


Figura 28 - Parâmetros de uma abertura *shaft*

Para demonstração da segurança em elementos estruturais do JHA, devido às diversas possibilidades, ir-se-á demonstrar o resultado para a situação em que o utilizador pretende saber os perigos e como proceder para a realização da escavação para as fundações (Figura 29).

Figura 29 - Exemplo da aplicação do JHA no modelo

Para a demonstração das Fichas Tipo, o resultado demonstrado na Figura 30 corresponde aos perigos específicos da instalação e comuns a considerar numa janela.

Figura 30 - Exemplo de aplicação da Ficha Tipo numa janela

A importação de diversos objetos de segurança com diversos tamanhos permite a aplicação de sistemas de segurança corretos para as diversas situações de perigo. Recorrendo ao botão “Importar” e ao método de modelação manual, como é possível verificar na Figura 31, foi colocado o tamponamento adequado para as aberturas existentes, eliminando o perigo existente.

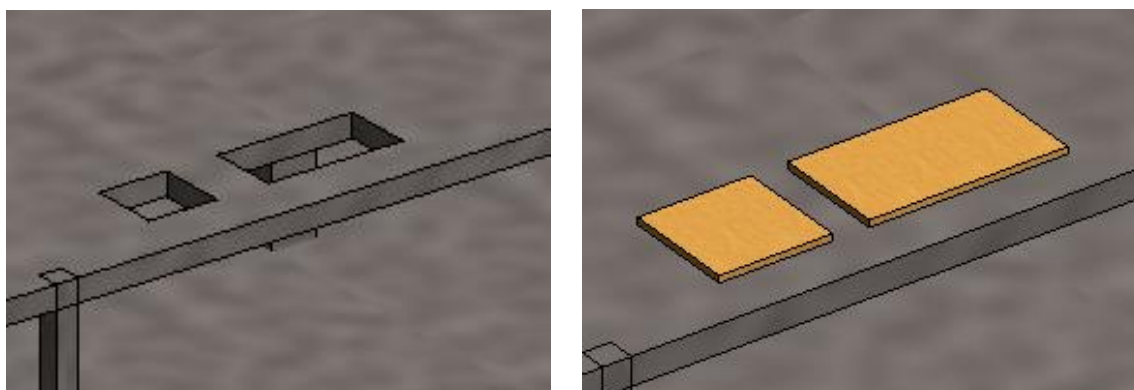


Figura 31 - Exemplo da aplicação do tamponamento

Da mesma forma, é possível ao projetista a aplicação dos elementos verticais (guarda-corpos), como é visível na Figura 32, na extremidade da laje, local propenso igualmente a perigos de queda.

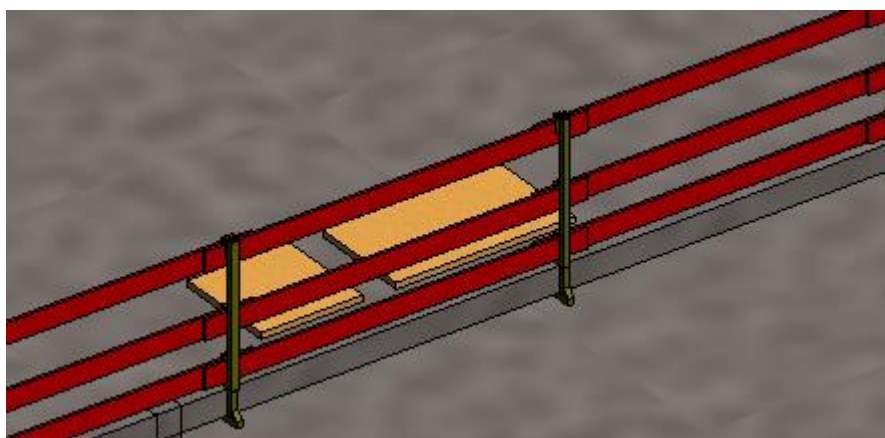


Figura 32 - Exemplo de aplicação de guarda-corpos na extremidade da laje

4.4. Nota final

Este *plugin* foi desenvolvido utilizando o sistema operativo Windows 10 e o *software* Autodesk Revit 2016. Assim, a utilização do mesmo com outros sistemas operativos ou versões diferentes do Revit não foram contempladas, podendo surgir incompatibilidades.

Capítulo 5

Considerações finais

Capítulo 5 – Considerações finais

5.1 – Síntese do trabalho realizado

5.2 – Dificuldades sentidas

5.3 – BIM na prevenção de riscos

5.4 – Desenvolvimentos futuros

5. Considerações finais

5.1. Síntese do trabalho realizado

Esta dissertação contribui para mostrar as potencialidades da API disponibilizada pela Autodesk para o Revit, para a prevenção de riscos profissionais na utilização da metodologia BIM.

Foi assim proposto um *plugin* para detecção de situações de queda em altura, mais propriamente, da existência de aberturas em laje e paredes, assim como as medidas de prevenção. Pelo estudo da legislação atual e dos métodos de avaliação de riscos, foi também criado uma interface que possibilita a interligação entre um modelo BIM e uma base de dados de segurança de uma forma prática e acessível, com possibilidade de exportação de fichas de segurança.

5.2. Dificuldades sentidas

Inicialmente previa-se para esta dissertação a criação de um sistema de *rule-check* universal recorrendo ao *software* SMC para validação e extração de resultados do modelo. Dada a versatilidade das regras existentes no SMC, o objetivo proposto consistia na formalização e aplicação de um conjunto de regras onde a sua validação dependia das dimensões das aberturas. No entanto, após a utilização do mesmo e com troca de informação com responsáveis do SMC, chegou-se à conclusão da impossibilidade de aplicar tais regras para situações de quedas em altura em aberturas de laje, sendo apenas possível a extração de informação da quantidade de aberturas existentes.

A maior dificuldade foi sentida na parte de desenvolvimento de código, onde não só foi necessária a aprendizagem de uma linguagem de programação, mas também como desenvolver o *plugin* recorrendo ao API do Revit.

A análise e estudo da legislação atual permitiu verificar que esta se encontra desatualizada, não tendo em conta a realidade atual e futura da utilização da metodologia BIM. Acabando por não ser possível retirar a informação útil para este novo paradigma, foi necessário recorrer a normas externas para obtenção de dados

concretos acerca de procedimentos adequados relativamente à variação das dimensões das aberturas.

O aparecimento da metodologia BIM permitiu a criação de modelos com objetos ricos em informação. No entanto os objetos das aberturas são espaços vazios, em que as propriedades deste são reduzidas, não sendo possível obter a informação da área de cada abertura. Por consequência, não foi possível utilizar tal parâmetro para definição do tipo de proteção a utilizar.

5.3. BIM na prevenção de riscos

O setor da construção encontra-se em constante evolução, aparecendo constantemente novos processos e metodologias. No entanto, os prazos cada vez mais apertados, invalidam não só a aplicação de novas soluções, como muitas vezes a negligência das já existentes.

O planeamento da segurança é um dos aspetos pouco valorizados. Ao longo desta dissertação verificou-se que existem descuidos na sua implementação, sendo proposto a fase de projeto como a fase ideal de atuação.

A metodologia BIM é uma das evoluções mais recentes no setor da construção. Com a possibilidade de modelação em 3D, surgiram diversas soluções e ferramentas para retirar o maior proveito de um modelo. No entanto, pela análise das diversas referências bibliográficas, foi perceptível a escassez de informação e a fraca abordagem à temática da segurança nesta metodologia.

A introdução de um sistema de *rule-check* automático proporciona a resolução de lacunas num menor intervalo de tempo e introduz novas possibilidades em projeto. Necessitando sempre de intervenção humana para a verificação dos resultados, o *rule-check* pode ser usado para averiguação dos perigos existentes e das respetivas medidas de atuação.

Nesta dissertação foi abordado um sistema de *rule-check* para quedas em altura, onde o principal objetivo foi a sua deteção, não tendo sido colocado em prática a aplicação das respetivas proteções de forma automática.

Da mesma forma, com a elaboração da base de dados, é proposto um método para identificação de perigos e avaliação de riscos, em que, com a possibilidade de exportação de fichas, podem ser facilmente distribuídas e analisadas pelos diversos

intervenientes, permitindo que todos contribuam para a prevenção dos riscos em obra.

Conclui-se que as API's do Revit possibilitam diversas abordagens e automatização de processos e que, apesar do tempo inicial a despende para a programação de *plugins*, a longo prazo, estes manifestam-se em ganhos substanciais, quer no tempo necessário para a execução das tarefas a que se destinam, quer na redução de erros e omissões em projeto. No âmbito da prevenção de riscos, a automatização da deteção de situações potenciais causadoras de riscos de queda em altura, na fase de projeto, contribui para a respetiva eliminação/minimização de forma eficiente e rápida.

5.4. Desenvolvimentos futuros

Como desenvolvimento de trabalhos futuros propõe-se a continuação do desenvolvimento do *plugin* com a adição de novas funcionalidades. Em Aberturas, sugere-se o desenvolvimento da colocação automática das proteções nas respetivas aberturas, assim como existir a possibilidade de extração de uma lista de quantidades das proteções necessárias.

Como forma de automatizar a segurança em obra, sugere-se a integração do respetivo *plugin* no *software* Autodesk Navisworks, de modo a adicionar as tarefas relativamente à segurança diretamente no planeamento da obra.

Propõe-se a ampliação do *plugin* para que sejam contemplados os métodos quantitativos e semi-quantitativos de avaliação de riscos.

Por fim, sugere-se a continuação da expansão da base de dados, de forma a cada vez mais conter o máximo de informação e procedimentos corretos de atuação na construção

Capitulo 6

Referências bibliográficas

Capítulo 6 – Referências Bibliográficas

6. Referências Bibliográficas

- ACT, 2015. Autoridade para as Condições do Trabalho. Available at: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx) [Accessed November 5, 2015].
- Antunes, J.M.P., 2013. *Interoperacionalidade em Sistemas de Informação*.
- Azhar, S., Hein, M. & Sketo, B., 2007. Building Information Modeling (BIM): Benefits , Risks and Challenges. *BIM-benefit measurement*, 18(9), p.11. Available at: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPGT182002008.pdf>.
- Behm, M., 2005. Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Safety Science*, 43(8), pp.589–611.
- Bryde, D., Broquetas, M. & Volm, J.M., 2013. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), pp.971–980. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263786312001779>.
- Cabrito, A. & Branco, C., 2006. A Coordenação Da Segurança E Saúde Na Fase De Projecto : a Aplicação Dos Princípios Gerais De Prevenção. , p.8. Available at: <https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/558/1/cabrito.pdf>.
- Cardoso, P., 2009. Modelo de prevenção de acidentes na construção. , p.128. Available at: http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/cdn/especializacoes/16_000137864.pdf.
- Carneiro, F.C. da S., 2011. Avaliação de riscos : Aplicação a um processo de construção. , p.98. Available at: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/7857/1/244178.pdf>.
- Chantawit, D. et al., 2005. 4DCAD-Safety : visualizing project scheduling and safety planning. *Construction Innovation*, (5), pp.99–114.
- Chi, N.-W., Lin, K.-Y. & Hsieh, S.-H., 2014. Using ontology-based text classification to assist Job Hazard Analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 28(4), pp.381–394. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034614000354>

[Accessed October 23, 2016].

- Ciribini, A.L.C., Mastrolembro Ventura, S. & Paneroni, M., 2016. Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, 71, pp.62–73. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>.
- Clemente, J.M.D., 2012. Sinergias BIM-Lean na redução dos tempos de interrupção de exploração em obras de manutenção de infraestruturas de elevada utilização – um caso de estudo. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Almada. Available at: <http://run.unl.pt/handle/10362/7980>.
- Coutinho, A.F., 2012. *Fatores que condicionam o desempenho da segurança na construção: modelo*. Universidade de Aveiro.
- Eastman, C. et al., 2009. Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 18(8), pp.1011–1033. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580509001198>.
- Eastman, C. et al., 2011. *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, Inc. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161>.
- Estrada, J.G., 2015. *Prevenção de riscos na fase de projeto com base na metodologia BIM*. Universidade de Aveiro.
- Faria, J.A., 2014. SEGURANÇA E SAÚDE NA CONSTRUÇÃO. , pp.1–53.
- Fernandes, R., 2013. Advantages and Disadvantages of BIM Platforms on Construction Site. *Department of Civil Engineering*. Available at: <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/73195>.
- Ferreira, B.F.V., 2011. Aplicação de conceitos BIM à instrumentação de estruturas. , p.110.
- Hamil, S., 2012. Building Information Modelling and Interoperability. Available at: <http://ckegroup.org/thinkbimblog/building-information-modelling-and-interoperability/> [Accessed October 10, 2016].
- Jackson, Q., 2011. Programa de cálculo de muros de suporte de terras em betão armado.
- Li, Y., 2014. *Automated Code-checking of BIM models*. FEUP.
- Lima, M., 2011. PROGRAMAÇÃO DE MÉTODOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

DE OBRAS COSTEIRAS.

- Lima, T., 2004. Trabalho e Risco no Sector da Construção Civil em Portugal : Desafios a uma cultura de prevenção. , p.13. Available at: <http://www.ces.uc.pt/publicacoes/oficina/index.php?id=2668>.
- Maia, L., Mêda, P. & Freitas, J.G., 2015. BIM Methodology, a New Approach - Case Study of Structural Elements Creation. *Procedia Engineering*, 114, pp.816–823. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.032>.
- Manuele, F.A., 2008. Prevention through Design (PtD): history and future. *Journal of safety research*, 39(2), pp.127–30. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022437508000078> [Accessed November 7, 2016].
- Merivirta, M., 2011. Exploitation of BIM based information displays for construction site safety communication. Available at: <http://www.vtt.fi/sites/bimsafety/>.
- Migilinskas, D. et al., 2013. The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57, pp.767–774.
- Nemetschek, 2016. Solibri Model Checker. Available at: <https://www.solibri.com/products/solibri-model-checker/> [Accessed March 3, 2016].
- OSHA, 2007. PART 1926 - Personal Protective and Life Subpart B — General Interpretations.
- Oti, a. H. et al., 2016. Structural sustainability appraisal in BIM. *Automation in Construction*, 69, pp.44–58. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.019>.
- Palito, M., 2012. Plano de segurança e saúde: fase de projecto. , p.84. Available at: <http://comum.rcaap.pt/handle/123456789/3870>.
- Soares, J.D.R.T., 2013. *A metodologia BIM-FM aplicada a um caso prático. Relatório de Estágio para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto.*
- Sulankivi, K. et al., 2013. Utilization of BIM-based Automated Safety Checking in Construction Planning. *Proceedings of the 19th International CIB World Building Congress, Brisbane Australia*, (April 2016).
- Sulankivi, K., Mäkelä, T. & Kiviniemi, M., 2009. BIM-based site layout and safety

- planning. *VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)*, pp.125–140.
- Swuste, P., Frijters, A. & Guldenmund, F., 2012. Is it possible to influence safety in the building sector?. A literature review extending from 1980 until the present. *Safety Science*, 50(5), pp.1333–1343. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.036>.
- Toole, T.M. & Gambatese, J., 2008. The trajectories of Prevention through Design in construction. *Journal of safety research*, 39(2), pp.225–30. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022437508000376>.
- Wetzel, E.M. & Thabet, W.Y., 2015. The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes. *Automation in Construction*, 60, pp.12–24. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.004>.
- Zhang, S., Sulankivi, K., et al., 2015. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72(0), pp.31–45. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514001829>\nhttp://ac.els-cdn.com/S0925753514001829/1-s2.0-S0925753514001829-main.pdf?_tid=cd89f376-5459-11e4-ab07-00000aab0f26&acdhat=1413370720_ae0353d67161c5326b7689b693897a0e
- Zhang, S. et al., 2013. Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*, 29, pp.183–195. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512000799> [Accessed September 26, 2016].
- Zhang, S. et al., 2011. Integrating BIM and Safety: An Automated Rule-Based Checking System for Safety Planning and Simulation. *Proceedings of CIB W99 Conference*, pp.1–13.
- Zhang, S., 2014. Integrating Safety and Bim: Automated Construction Hazard Identification and Prevention. , (August).
- Zhang, S., Boukamp, F. & Teizer, J., 2015. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Automation in Construction*, 52, pp.29–41. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>.

Anexo A

Anexo B

Properties			✕
Name	Type	Value	
Area	double	7831,8650553005	
Category	Element	Not set	
Category	Element	Not set	
Comments	string		
Design Option	Element	Not set	
Elevation at Bottom	double	11,8110236220472	
Elevation at Top	double	12,4671916010499	
Enable Analytical Model	int	0	
Family	Element	Piso 0 (0.20m)	
Family and Type	Element	Piso 0 (0.20m)	
Family Name	string		
Height Offset From Level	double	0	
Image	Element	Not set	
Level	Element	Piso Cobertura	
Level	Element	Piso Cobertura	
Mark	string		
Perimeter	double	501,70988745479	
Phase Created	Element	New Construction	
Phase Demolished	Element	Not set	
Related to Mass	int	0	
Room Bounding	int	1	
Slope	double	0	
Structural	int	0	
Thickness	double	0,656167979002625	
Type	Element	Piso 0 (0.20m)	
Type Id	Element	Piso 0 (0.20m)	
Type Name	string		
Volume	double	5139,01951170809	
			OK

Propriedades de uma laje

Properties			✕
Name	Type	Value	
Category	Element	Not set	
Category	Element	Not set	
Design Option	Element	Not set	
Family Name	string		
Phase Created	Element	New Construction	
Phase Demolished	Element	Not set	
Type Name	string		

Propriedades de uma abertura

Anexo C

Job Hazard Analysis	
Nome do projeto:	Unidade de Radioterapia
Data:	30/11/2016 14:21:43
Tipo de elemento :	Structural Foundations
Actividade:	Escavação
Potencial Perigo	Queda em altura
Procedimento Recomendado:	<p>Redução do tempo de exposição ao risco: Transferir o que for possível a fim de que o serviço possa ser executado no solo /n Impedir a queda: Eliminar o risco através da conceção e organização do trabalho na obra /n Limitar a queda: Se a queda for impossível, deve-se recorrer a proteções que a limitem /n Proteção individual: Se não for possível a adoção de medidas que reduzam o tempo de exposição, deve-se recorrer a equipamentos de proteção individual</p>